

ISSN 2713-1572



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ  
И РЕСУРСЫ**

**2024**

**Том 14. № 1**

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**NATURAL SYSTEMS  
AND RESOURCES**

**2024**

**Volume 14. No. 1**



# NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

2024. Vol. 14. No. 1

*Academic Periodical*

First published in 2011

*4 issues a year*

## Founder:

Federal State Autonomous  
Educational Institution  
of Higher Education  
“Volgograd State University”

The journal is registered in the Federal Service for  
Supervision of Communications, Information  
Technology and Mass Media (Registration Number  
III № ФС77-74483 of November 30, 2018)

The journal is included into the **Russian Science  
Citation Index**

The journal is also included into the following Russian  
and international databases: **Google Scholar** (USA),  
**Open Academic Journals Index** (Russia),  
**ProQuest** (USA), **VINITI Database RAS** (Russia),  
**“CyberLeninka” Scientific Electronic Library** (Russia),  
**“Socionet” Information Resources** (Russia), **IPRbooks**  
**E-Library System** (Russia), **E-Library System**  
**“University Online Library”** (Russia)

## Editorial Staff:

Assoc. Prof., Dr. *E.A. Ivantsova* – Chief Editor (Volgograd)  
Prof., Dr. *V.V. Novochadov* – Deputy Chief Editor  
(Volgograd)  
Assoc. Prof., Cand. *P.A. Krylov* – Executive Secretary  
and Copy Editor (Volgograd)  
Prof., Dr. *L.A. Anisimov* (Volgograd)  
Dr., Senior Researcher *V.P. Voronina* (Volgograd)  
Prof., Dr. *A.A. Okolelova* (Volgograd)  
Assoc. Prof., Dr. *V.A. Sagalaev* (Volgograd)  
Prof., Dr. *V.V. Tanyukevich* (Novocherkassk)  
Assoc. Prof., Dr. *V.G. Yuferev* (Volgograd)

## Editorial Board:

Prof., Dr. *S.A. Bartalev* (Moscow); Prof., Dr.  
*M.N. Belitskaya* (Volgograd); Prof., Dr. *Yu.K. Vinogradova*  
(Moscow); Assoc. Prof., Dr. *D.S. Vorobyev* (Tomsk); Prof.,  
Acad. of RAS *I.F. Gorlov* (Volgograd); Assoc. Prof.,  
Dr. *P.M. Dzhambetova* (Grozny); Prof., Dr. *S.I. Kolesnikov*  
(Rostov-on-Don); Prof., Dr., Acad. of RAS *I.P. Kruzhilin*  
(Volgograd); Prof., Acad. of RAS *K.N. Kulik* (Volgograd);  
Assoc. Prof., Dr., Acad. of RANHM *G. Mustafaev* (Baku,  
Azerbaijan); Prof., Dr., Acad. of RAS *A.S. Rulev* (Volgograd);  
Prof., Dr., Corr. Member of RAS *M.I. Slozhenkina*  
(Volgograd); Prof. of RAS, Dr. *N.V. Tiutiuna* (Astrakhan  
Oblast, Solyonoye Zaymishche); Prof., Dr. *A.V. Khoperskov*  
(Volgograd); Assoc. Prof., Dr. *S.R. Chalov* (Moscow); Prof.,  
Acad. of RAS *A.A. Chibilev* (Orenburg); Prof., Dr.  
*G.Yu. Yamskikh* (Krasnoyarsk)

Editor of English texts is *D.A. Novak*

Making up by *E.S. Reshetnikova*

Technical editing by *M.V. Gayval, E.S. Reshetnikova*

Passed for printing on Mar. 19, 2024.

Date of publication: . . , 2024.

Format 60×84/8. Offset paper. Typeface Times.

Conventional printed sheets 5.1. Published pages 5.5.

Number of copies 500 (1<sup>st</sup> printing 1–27 copies).

Order . «C» 16.

Open price

Address of the Printing House:

Bogdanova St, 32, 400062 Volgograd.

Postal Address:

Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd.

Publishing House of Volgograd State University.

E-mail: [izvolgu@volsu.ru](mailto:izvolgu@volsu.ru)

Address of the Editorial Office and the Publisher:

Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd.

Volgograd State University.

Tel.: (8442) 46-16-39. Fax: (8442) 46-18-48

E-mail: [vestnik11@volsu.ru](mailto:vestnik11@volsu.ru)

Journal website: <https://ns.jvolsu.com>

English version of the website:

<https://ns.jvolsu.com/index.php/en/>



# ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ

2024. Т. 14. № 1

Научно-теоретический журнал

Основан в 2011 году

Выходит 4 раза в год

## Учредитель:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (регистрационный номер **ПИ № ФС77-74483** от 30 ноября 2018 г.)

Журнал включен в базу **Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)**

Журнал также включен в следующие российские и международные базы данных: **Google Scholar** (США), **Open Academic Journals Index** (Россия), **ProQuest** (США), **ВИНИТИ** (Россия), **Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»** (Россия), **Соционет** (Россия), **Электронно-библиотечная система IPRbooks** (Россия), **Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»** (Россия)

## Редакционная коллегия:

д-р с.-х. наук, доц. *Е.А. Иванцова* – главный редактор (г. Волгоград)  
д-р мед. наук, проф. *В.В. Новочадов* – зам. главного редактора (г. Волгоград)  
канд. биол. наук, доц. *П.А. Крылов* – ответственный и технический секретарь (г. Волгоград)  
д-р геол.-минер. наук, проф. *Л.А. Анисимов* (г. Волгоград)  
д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. *В.П. Воронина* (г. Волгоград)  
д-р биол. наук, проф. *А.А. Околенова* (г. Волгоград)  
д-р биол. наук, доц. *В.А. Сагалаев* (г. Волгоград)  
д-р с.-х. наук, проф. *В.В. Танюкевич* (г. Новочеркасск)  
д-р с.-х. наук, доц. *В.Г. Юферев* (г. Волгоград)

## Редакционный совет:

д-р техн. наук, проф. *С.А. Барталев* (г. Москва); д-р биол. наук, проф. *М.Н. Белицкая* (г. Волгоград); д-р биол. наук, проф. *Ю.К. Виноградова* (г. Москва); д-р биол. наук, доц. *Д.С. Воробьев* (г. Томск); проф., акад. РАН *И.Ф. Горлов* (г. Волгоград); д-р биол. наук, доц. *П.М. Джамбетова* (г. Грозный); д-р с.-х. наук, проф. *С.И. Колесников* (Ростов-на-Дону); д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН *И.П. Кружилин* (г. Волгоград) проф., акад. РАН *К.Н. Кулик* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, доц., акад. РАН *М.Г. Мустафаев* (г. Баку, Азербайджан); д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН *А.С. Рулев* (г. Волгоград); д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН *М.И. Сложеникина* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, проф. РАН *Н.В. Тютюма* (Астраханская обл., с. Соленое Займище); д-р физ.-мат. наук, проф. *А.В. Хоперсков* (г. Волгоград); д-р геогр. наук, доц. *С.Р. Чалов* (г. Москва); д-р геогр. наук, проф., акад. РАН *А.А. Чибилев* (г. Оренбург); д-р геогр. наук, проф. *Г.Ю. Ямских* (г. Красноярск)

Редактор английских текстов *Д.А. Новак*  
Верстка *Е.С. Решетниковой*  
Техническое редактирование *М.В. Гайваль*,  
*Е.С. Решетниковой*

Подписано в печать 19.03 2024 г.

Дата выхода в свет: . 2024 г.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,1. Уч.-изд. л. 5,5.

Тираж 500 экз. (1-й завод 1–27 экз.). Заказ . «С» 16.

Свободная цена

Адрес типографии:

400062 г. Волгоград, ул. Богданова, 32.

Почтовый адрес:

400062 г. Волгоград, просп. Университетский, 100.

Издательство

Волгоградского государственного университета.

E-mail: [izvolgu@volsu.ru](mailto:izvolgu@volsu.ru)

Адрес редакции и издателя:  
400062 г. Волгоград, просп. Университетский, 100.  
Волгоградский государственный университет.  
Тел.: (8442) 46-16-39. Факс: (8442) 46-18-48  
E-mail: [vestnik11@volsu.ru](mailto:vestnik11@volsu.ru)

Сайт журнала: <https://ns.jvolsu.com>

Англоз. сайт журнала:

<https://ns.jvolsu.com/index.php/en/>



## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ, ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ

Мин Тьн Нгуен, Иванцова Е.А. Оценка состояния дендрофильной энтомофауны урбанизированных территорий (на примере г. Волгограда) ..... 5

### ЭКОЛОГИЯ

Аббас Кайс С., Лушникова Е.С., Новочадов В.В. Оценка лактозо-конвертирующей способности дрожжей *Kluyveromyces lactis* в зависимости от концентрации цинка в среде культивирования ..... 18

Мирсалахова Л.М. Фертирригационная технология на виноградниках с экономией воды и удобрений для высококачественного производства винограда ..... 26

Гумбатов Д.А. оглы, Алиева Х.С. гызы. Вопросы использования БПЛА для проведения мониторинга качества береговых вод ..... 34

Мамедова Г.А., Насирли Г.Ф., Алиев Т.А. Влияние условий синтеза на кристаллизацию цеолита шабазита в растворе LiOH [На англ. яз.] ..... 39

Амирова Т.Н. гызы, Алиева Х.С. гызы. Многоволновая методика определения содержания фосфора в песочной почве на базе результатов измерения влажности и коэффициента поглощения почвы ..... 48

## CONTENTS

### FORESTRY, SILVICULTURE, FOREST CROPS, AGROFORESTRY, LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

Nguyen Minh Chi, Ivantsova E.A. Assessment of the Condition of Dendrophilous Entomofauna of Urbanized Territories (Based on the Example of Volgograd) ..... 5

### ECOLOGY

Abbas Kais S., Lushnikova E.S., Novochadov V.V. Assessment of the Lactose-Converting Ability of Yeast *Kluyveromyces lactis*, Depending on the Concentration of Zinc in the Cultivation Medium ..... 18

Mirsalakhova L.M. Fertirrigation Technology on Vineyards with Economy of Water and Fertilizers for High-Quality Production of Grape ..... 26

Humbatov D.A. oglu, Aliyeva H.S. gizi. Issues of Using UAVs to Monitor the Quality of Coastal Waters ..... 34

Mamedova G.A., Nasirli G.F., Aliyev T.A. Influence of Synthesis Conditions on Chabazite Zeolite Crystallization in LiOH Solution ..... 39

Amirova T.N. gizi, Aliyeva H.S. gizi. A Multi-Wave Method for Determining the Phosphorus Content in Sandy Soil Based on the Results of Measuring Moisture and Soil Absorption Coefficient ..... 48



**ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО,  
ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ,  
АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,  
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ** 

---

---

DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.1>

UDC 502.5:595.7(470.45)

LBC 26.887.2(2Рос-4Вор)



**ASSESSMENT OF THE CONDITION  
OF DENDROPHILOUS ENTOMOFAUNA OF URBANIZED TERRITORIES  
(BASED ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD)**

**Nguyen Minh Chi**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation;  
Mien Trung University of Civil Engineering, Tuy Hoa, Vietnam

**Elena A. Ivantsova**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** The article presents long-term data from research work on the study of dendrophilous phyllophages in green spaces of different types and categories in the urbanized territory of Volgograd. At each site (test sites in the plantings of the Mamayev Kurgan memorial complex, the park named after Yu. A. Gagarin, public gardens on the embankment named after the 62<sup>nd</sup> Army, named after V.I. Glazkov near the main building of Volgograd State University, plantings along the 64<sup>th</sup> Army street), three model sites were laid out, on which five to seven main woody plants (*Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus pyramidalis*, *Ulmus pumila*, *Ulmus laevis*, *Ulmus glabra*, *Pinus sylvestris*, and *Robinia pseudoacacia*) were examined. It has been established that the taxonomic composition of the phyllophages of the main tree species in the plantings of Volgograd includes 6 species of mites and 102 species of insects from 83 genera, 29 families, and 6 orders. Economically dangerous phyllophages include 19 species of harmful insects and 9 species of less significant ones. Species of phyllophages have been identified whose responses to negative environmental factors can be used to monitor the condition of urban plantings. The formation of a community of arthropod pests in plantings of different ecological categories is influenced by species composition, air pollution, and the degree of recreational load.

**Key words:** dendrophilous entomofauna, phyllophages, green spaces, urban ecosystems, Volgograd region.

**Citation.** Nguyen Minh Chi, Ivantsova E.A. Assessment of the Condition of Dendrophilous Entomofauna of Urbanized Territories (Based on the Example of Volgograd). *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 5-17. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.1.1>

УДК 502.5:595.7(470.45)  
ББК 26.887.2(2Рос-4Вор)

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕНДРОФИЛЬНОЙ ЭНТОМОФАУНЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА)

Мин Тъи Нгуен

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация;  
Строительный университет Мьентрунга, г. Туйхоа, Вьетнам

Елена Анатольевна Иванцова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлены многолетние данные исследовательских работ по изучению дендрофильных филлофагов в зеленых насаждениях разных типов и категорий урбанизированной территории г. Волгограда. На каждом объекте (пробных площадках в насаждениях мемориального комплекса Мамаев курган, парка им. Ю.А. Гагарина, скверов на набережной им. 62-й Армии, им. В.И. Глазкова близ главного корпуса Волгоградского государственного университета, посадках по улице 64-й Армии) были заложены по три модельных площадки, на которых обследовались по пять-семь основных древесных растений *Populus alba*, *Populus nigra* и *Populus pyramidalis*, *Ulmus pumila*, *Ulmus laevis*, *Ulmus glabra*, *Pinus sylvestris*, *Robinia pseudoacacia*. Установлено, что таксономический состав филлофагов основных древесных пород в насаждениях Волгограда включает 6 видов клещей и 102 вида насекомых из 83 родов, 29 семейств и 6 отрядов. К числу хозяйственно опасных филлофагов относятся 19 видов вредных насекомых и 9 видов менее значимых. Выделены виды филлофагов, ответные реакции которых на действие негативных факторов среды могут быть использованы для мониторинга состояния городских насаждений. На формирование сообщества членистоногих вредителей в насаждениях разных экологических категорий влияют породный состав, загрязнение атмосферного воздуха и степень рекреационной нагрузки.

**Ключевые слова:** дендрофильная энтомофауна, филлофаги, зеленые насаждения, урбозкосистемы, Волгоградская область.

**Цитирование.** Мин Тъи Нгуен, Иванцова Е. А. Оценка состояния дендрофильной энтомофауны урбанизированных территорий (на примере г. Волгограда) // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 5–17. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.1>

Изучению энтомофауны озелененных территорий различных городов РФ посвящено значительное количество работ [1–4; 8; 9; 11–13; 22; 24–26; 28; 29; 33–37; 40; 43–47]. Исследований, посвященных изучению дендрофильных насекомых и оценке состояния древесных насаждений Волгограда крайне недостаточно, имеющиеся данные в работах М.Н. Белицкой и др. [5–7], П.М. Богодухова [10], А.П. Глинушкина, И.Ю. Подковырова [14], И.Р. Грибуст, А.В. Семенютиной [16], Ю.С. Ельниковой [18], Р.В. Овсянкина и др. [30–32], Г.А. Серого [38; 39], А.А. Тихоновой, Е.А. Иванцовой [41], Т.Г. Токаревой [42], Е.А. Ivantsova [49], и др. [15; 20; 21; 37; 50] носят фрагментарный характер, посвящены отдельным группам членистоногих или отдельным урбанизированным экосистемам, что и обусловило необходимость проведения наших исследований.

Исследовательские работы выполнялись в период с 2019 по 2022 гг. в зеленых насаждениях разных типов и категорий урбанизированной территории Волгограда. Ассортимент древесной растительности включает: *Populus alba* (тополь белый), *Populus nigra* (тополь черный), *Populus pyramidalis* (тополь пирамидальный), *Ulmus pumila* (вяз приземистый), *Ulmus laevis* (вяз гладкий) и *Ulmus glabra* (вяз шершавый), *Pinus sylvestris* (сосна обыкновенная), *Betula pendula* (береза повислая), *Robinia pseudoacacia* (робиния лжеакация), *Larix sibirica* (лиственница сибирская), *Picea sp.* (различные виды ели). Реже в посадках встречаются *Fraxinus excelsior* (ясень обыкновенный), *Tilia cordata* (липа мелколистная), *Acer platanoides* (клен остролистный), *Acer tataricum* (клен татарский), *Acer campestre* (клен полевой) и *Acer negundo* (клен ясенелистный), а также *Catalpa speciosa* (каталь-

па прекрасная). Из кустарников обычны: *Lonicera tatarica* (жимолость татарская), *Berberis vulgaris* (барбарис обыкновенный), *Cotinus coggygia* (скуппия кожевенная), *Prunus virginiana* (черемуха виргинская), *Rosa sp.* (виды шиповника), *Crataegus sp.* (виды боярышника), *Amelanchier sp.* (виды ирги), *Syringa sp.* (виды сирени). Преобладающее число древесных растений в посадках находится в возрасте 40–60 и более лет [19].

Ведущее значение в формировании основных городских ландшафтных элементов имеют следующие породы:

– Вяз (*Ulmus*) – массовое растение, в разных насаждениях на долю ильмовых приходится более 70 %. Широкое использование данной древесной породы в озеленении территории города Волгограда (прош. Царицын, Сталинград) началось еще в 30-е гг. прошлого столетия [5; 7];

– Робиния (*Robinia*), Тополь (*Populus*) стали использовать для озеленения территорий в 50-х гг. прошлого века. При этом различные виды тополей высаживают обычно в городских насаждениях различных категорий. Акации же отдают предпочтение при обустройстве скверов, бульваров, внутриквартальных участков и при создании уличных насаждений [41; 42];

– Сосна как древесный вид в озеленительных целях стала применяться при создании разного рода декоративных зеленых объектов с 70–80-х гг. прошлого века. При этом в посадках присутствуют обычно единичные экземпляры или группы деревьев этой хвойной породы по 3–7 штук в композиции. В то же время в границах города и по его периметру встречаются массивные насаждения по 5–7 га (микрорайон Горная Поляна, древо-стой близ мемориального комплекса Лысая Гора, на склонах Ергенинской возвышенности и др.).

В настоящее время, как указывают многие исследователи, более 60 % деревьев в посадках города Волгограда ослаблены в той или иной степени, что подтверждают, в том числе и наши данные по результатам оценки санитарного состояния основных древесных пород (см. таблицу).

При проведении энтомологических исследований сбор и учет вредителей листвы и хвои осуществлялся в процессе проведения постоянных и рекогносцировочных обследований посадок. Расположение постоянных пробных площадок в насаждениях г. Волгограда представлено на рисунке.

Постоянные наблюдения выполнялись на пробных площадках в насаждениях мемо-

### Санитарное состояние древесных растений в насаждениях г. Волгограда

Насаждение	Древесная порода	Категория состояния, %			
		I	II	III	IV
Рекреационно-озеленительные	Вяз	–	30,36	56,38	13,26
	Тополь	12,04	38,52	41,01	8,43
	Робиния	9,98	56,05	23,97	–
	Сосна	4,24	82,69	13,07	–
Пригородные	Вяз	–	24,85	69,17	14,98
	Тополь	–	40,24	45,21	14,55
	Робиния	–	73,49	20,51	–
	Сосна	–	4,73	85,09	10,18

*Примечание.* Категории состояния: I – без признаков ослабления: деревья с густой и зеленой кроной, нормальным для данной породы приростом; II – ослабленные: деревья с листвой светлее обычного, часто с изреженной или слабоажурной кроной, их прирост уменьшен не более, чем наполовину, по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей менее 25 %; III – сильно ослабленные, деревья со светло-зеленой, слабожелтоватой или сероватой матовой листвой мельче или светлее обычного, их кроны ажурны, прирост уменьшен более чем наполовину по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей от 25 до 50 %; IV – усыхающие: деревья со светло-зеленой, желтоватой или сероватой матовой листвой мельче или светлей обычного, крона изрежена, прирост уменьшен более, чем наполовину по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей 50–75 %. Наблюдаются признаки повреждения ствола, корневых лап, ветвей, кроны и поселения стволовых вредителей на стволе и ветвях, возможно сокотечение и развитие водяных побегов на стволе и ветвях.

риального комплекса Мамаев курган, парка им. Ю.А. Гагарина, скверов на набережной им. 62-й Армии, им. В.И. Глазкова близ главного корпуса Волгоградского государственного университета, посадках по улице 64-й Армии.

На каждом объекте были заложены по три модельных площадки, на которых обследовались по 5–7 основных древесных растений (тополя белый, черный и пирамидальный, вязы приземистый, гладкий и шершавый, сосна обыкновенная и робиния лжеакация).

Оценка состояния деревьев на пробных площадках проводилась с использованием общепринятых методов и в соответствии с действующими руководствами по лесопатологическому обследованию насаждений [27]. При учете вредителей оценивали фитосанитарное состояние деревьев по комплексу признаков:

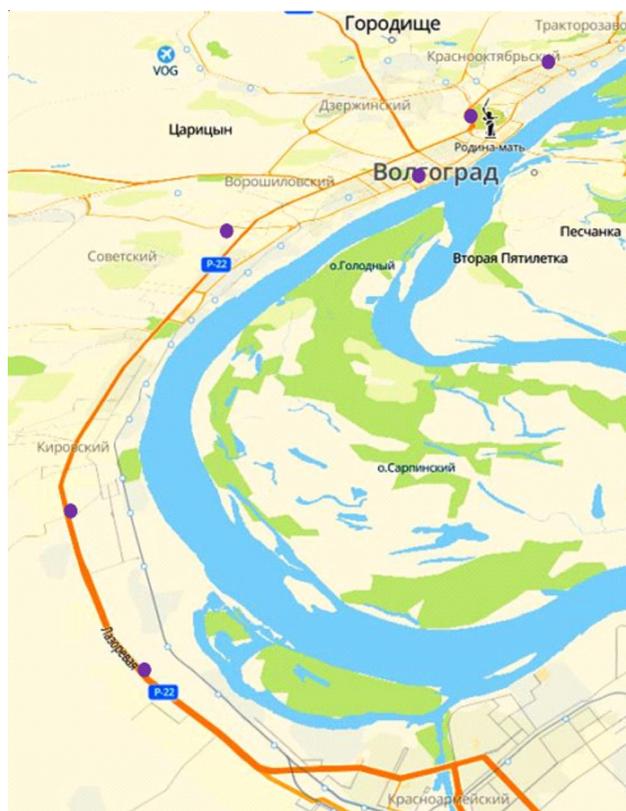
- без признаков ослабления;
- *ослабленные*: деревья часто с изреженной или слабоажурной кроной, их прирост уменьшен не более, чем наполовину, по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей < 25 %;

– *сильно ослабленные*: кроны ажурны, прирост уменьшен более чем наполовину по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей 25–50 %;

– *усыхающие*: крона изрежена, имеются признаки повреждения вредителями, возможно сокоотечение и развитие водяных побегов на стволе и ветвях, прирост уменьшен более, чем наполовину по сравнению с нормальным, доля усохших ветвей составляет от 50 до 75 %.

На деревьях в нижней части кроны длиной 1,0 м подсчитывали количество вредителей разных видов, наносимые ими повреждения листьев, собирали поврежденные листья с минами и галлами и пр. Дополнительно проводился ручной сбор имаго вредителей и кошениль энтомологическим сачком в кронах деревьев.

Учеты видового обилия дендрофильной энтомофауны проводили дважды за сезон: ранневесенний комплекс насекомых изучали с конца апреля до конца мая, летне-осенний комплекс филофагов – с начала августа до середины сентября.



Расположение постоянных пробных площадок в насаждениях г. Волгограда

Сбор и учет численности насекомых осуществляли в течение всего вегетационного периода со II декады мая и до октября. На каждой пробной площади выделяли 5–7 модельных дерева каждой из пород. На каждом дереве отбирали по 3 модельных ветви 1 м длиной из нижней части кроны [23]. На них подсчитывали число вредителей, общее количество листьев, в том числе поврежденных филлофагами. В случае учета численности инвазивных вредителей с деревьев собирали по 100 листьев; подсчитывали количество заселенных вредителями листьев; число листьев с разными галлами и минами на одном листе.

Проводили ручной сбор и энтомологическое кошение дополняемое осмотром листвы и анализом повреждений, вызванных филлофагами. Это важно для выявления редких и открытоживущих вредителей листвы, повреждения которых зачастую более заметны, нежели они сами [17; 27]. При сравнительной оценке количественного обилия отдельных видов филлофагов использовали относительные показатели численности: количество особей на 100 шт. листьев, 100 взмахов сачка.

По итогам обследований оценивалась частота встречаемости вредных членистоногих (в баллах) по методике А.В. Селиховкина (2009). При этом отмечалась экстенсивность повреждений – доля деревьев, имеющих повреждения конкретными видами вредителей и интенсивность повреждений – доля имеющихся повреждений листьев / хвои в кронах деревьев.

Анализ полученного материала проводился с использованием следующих методов и подходов: анализ структурных показателей доминантных групп энтомофауны – видового состава, экологической структуры; анализ ранговых распределений по классам обилия. Применение такого метода дает более законченную характеристику структуры сообщества [13; 28]. Анализ основан на том, что в нормальном (ненарушенном, фоновом и т. п.) состоянии сообщества параметры рангового распределения филлофагов специфичны для конкретной экосистемы, а также сложившегося комплекса условий, к которым адаптировано сообщество. Отклонение от этого состояния может служить мерой изменения состояния сообщества.

Оценка состояния энтомофауны предусматривала установление следующих показателей: таксономический состав и плотность; виды, составляющие основу населения; малочисленные насекомые; связь между древесной породой и разными трофическими группами членистоногих; выделение в составе сообществ видов, отличающихся по хозяйственному значению: вид, встречающийся единично, но наращивающий численность, сильного воздействия не оказывает; опасный вид, дающий вспышки массового размножения и сильное ослабление древесных насаждений; вид представляет серьезную опасность, но вспышек массового размножения не наблюдалось в течение нескольких лет; вид, вспышки размножения которого вероятны, но повреждения не оказывают решающего воздействия на дерево; вид, вспышки размножения которого не отмечались, но возможны; значительное воздействие на состояние дерева маловероятно.

Энтомологическое кошение дополнялось осмотром листвы и изучением повреждений, вызванных филлофагами. Особенно важно это для выявления инвазивных видов вредителей, а также открытоживущих филлофагов, повреждения которых зачастую более заметны, нежели они сами. Возможность идентифицировать их до вида дает ценную информацию по пространственной и временной изменчивости плотности популяции.

При сравнительной оценке количественного обилия разных видов насекомых использовались такие относительные показатели численности, как количество особей/100 шт. листьев, количество особей/100 взмахов сачка. Это дает адекватное представление об изменчивости обилия видов.

Определение видового состава насекомых проводили путем определения по имаго, личинкам, а также по видоспецифичным повреждениям ассимиляционного аппарата древесных растений с использованием определителей и атласов насекомых, определителей повреждений деревьев и кустарников [17; 27; 48].

По характеру повреждений листовой пластинки выделялись следующие группы: объедание листьев, скелетирование листьев, минирующее повреждение листьев, галлообразование, скручи-

вание листьев, «зигзагообразные» погрызы листовой пластинки.

Поврежденность ассимиляционного аппарата (процент поврежденных листьев от общего числа) – показатель, характеризующий особенности в заселении филлофагами отдельных древесных пород в разных насаждениях. Обычная проба состояла из 20–30 веток длиной каждая 1 м (общий объем составляет около 1500 листьев).

Влияние экологических факторов на разнообразие сообществ филлофагов оценивали путем проведения кластерного анализа и установления экологических индексов, использующихся при оценке сходства и различия населения членистоногих, их разнообразия и выравненности (индекс видового богатства Маргалефа, индекс общего разнообразия Шеннона с учетом выравненности проб, индекс выравненности Пиелу, индекс Бергера-Паркера) [19].

Уровень доминирования видов членистоногих или их семейств в сообществах оценивали с использованием следующих показателей:  $\leq 5\%$  – резиденты, 5,1–10 % – субдоминанты, 10,1–24 % – доминанты,  $> 25\%$  – супердоминанты.

Достоверность анализа обосновывалась корреляционными критериями [19].

Анализ структуры и динамики локальных сообществ филлофагов древесных пород в насаждениях проводился по выделяющимся представленностью таксонами отдельных отрядов с преобладающими семействами и выделяющимися основными характеристиками видами (встречаемость, численность).

За годы исследования было обследовано 23 пробные площадки в зеленых городских насаждениях. Было отловлено свыше 6000 экземпляров членистоногих и обследовано свыше 5000 деревьев.

Корреляционная зависимость обилия дендрофильных насекомых со степенью рекреационного пресса и уровнем загрязнения атмосферного воздуха анализировалась с использованием данных, предоставляемых Комитетом природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области в открытом доступе.

В результате проведенных исследований установлено, что таксономический состав

филлофагов основных древесных пород в насаждениях Волгограда включает 6 видов клещей и 102 вида насекомых из 83 родов, 29 семейств и 6 отрядов. Основу видового богатства филлофагов составляет отряд Lepidoptera (38,9 % от общего видового состава). В комплексе филлофагов выявлено 7 видов инвазивных вредных насекомых.

Сообщества филлофагов отличаются по видовому обилию. В их составе преобладают грызущие насекомые, ведущие открытый образ жизни (20,0–100,0 %; ильмовый листоед *Xanthogaleruca luteola* (Muller, 1776), бурополосая пяденица *Lycia hirtaria* (Clerck, 1760), ильмовый ногохвост *Dicranura ulmi* (Denis & Schiffermüller, 1775), рыжий сосновый пилильщик *Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) и др.). Долевое участие скрытоживущих вредителей ниже: минирующих 12,5–30,0 % и галлообразующих 5,0–27,7 %. Еще более обеднен состав сосущих насекомых (12,5–17,2 %). Исключение составляет сообщество филлофагов робинии, где этот показатель варьирует на уровне 45,0 %.

К числу хозяйственно опасных филлофагов относятся 19 видов вредных насекомых и 9 видов менее значимых. Для них характерны периодические изменения плотности популяций членистоногих, что приводит к трансформации состава доминирующих видов вредителей.

Повышение антропогенного воздействия способствует повышению численности вредных насекомых, в том числе инвазивных видов вредителей: ильмовый листоед *Xanthogaleruca luteola* (Muller, 1776), *Orchestes steppensis* (Korotyaev, 2016), белоакациевый пилильщик *Nematus tibialis* (Newman, 1837), белоакациевая моль-пестрянка *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863), белоакациевая минирующая односторонняя *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) и белоакациевая листовая галлица *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847).

На формирование сообщества членистоногих вредителей в насаждениях разных экологических категорий влияют породный состав, загрязнение атмосферного воздуха и степень рекреационной нагрузки.

Выделены виды филлофагов, ответные реакции которых на действие негативных фак-

торов среды могут быть использованы для мониторинга состояния городских насаждений: акациевая тля *Aphis fabae*, вязово-осоковая *Colopha compressa* и вязово-смородинная *Eriosoma ulmi* тли, ильмовый ногохвост *Dicranura ulmi*, вязовый минирующий пилильщик *Fenusa ulmi*, непарный шелкопряд *Lymantria dispar*, рыжий сосновый пилильщик *Neodiprion sertifer*, белоакациевый пилильщик *Nematus tibialis*, спиральная тополевая тля *Pemphigus spyrothecae*, *Pemphigus populi*, белоакациевая минирующая односторонняя моль-пестрянка *Phyllonorycter robiniella* и ильмовый листоед *Xanthogaleruca luteola*.

Информационный анализ выявил высокий структурный запас филофагов в насаждениях разных категориях. Повышение уровня загрязнения окружающей среды и рекреационного воздействия разного характера в дальнейшем будет способствовать трансформации сообщества вредителей с активизацией роли отдельных видов филофагов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксененко, Е. В. Зоогеографический анализ комплекса инвазионных насекомых фауны Воронежской области / Е.В. Аксененко, И. И. Корнев, А. В. Будаева, А. М. Кондратьева // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2022. – С. 58–65.
2. Алпацкая, Ю. И. Санитарное состояние насаждений и динамика очагов вредителей в Шолоховском лесничестве Ростовской области / Ю. И. Алпацкая // Лесохозяйственная информация. – 2016. – № 1. – С. 35–41.
3. Антюхова, О. В. Формирование энтомоакарокомплекса декоративных древесных культур в Приднестровье / О. В. Антюхова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2022. – № 82. – С. 168–180.
4. Баранник, А. П. Насекомые зеленых насаждений промышленных городов Кемеровской области / А. П. Баранник. – Кемерово : КГУ, 1981. – 67 с.
5. Белицкая, М. Н. Дендрофаги лесомелиоративных комплексов с участием древесных интродуцентов в условиях засушливой зоны / М. Н. Белицкая, И. Р. Грибуст // Социально-экологические технологии. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 343–361.
6. Белицкая, М. Н. Фауна энтомофагов в лесоаграрных ландшафтах аридной зоны / М. Н. Белицкая, Е. А. Иванцова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2012. – № 2 (4). – С. 50–55.
7. Белицкая, М. Н. Галлообразующие вредители древесных растений насаждений аридной зоны / М. Н. Белицкая, З. А. Федотова, Е. Э. Нефедьева // Парадигма. – 2016. – № 2. – С. 207–212.
8. Белов, Д. А. Состояние насаждений на бульварном кольце г. Москвы / Д. А. Белов, Н. К. Белова // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 152–161.
9. Богачева, И. А. Массовые и многочисленные насекомые-филлофаги деревьев и кустарников Екатеринбурга / И. А. Богачева, Г. А. Замшина, Н. В. Николаева // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 1. – С. 46–73.
10. Богодухов, П. М. Биоразнообразие энтомофауны в санитарно-защитной зоне Волгоградского алюминиевого завода / П. М. Богодухов // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. – 2013. – № 4 (14). – Т. 1. – С. 3–10.
11. Бойко, Т. А. Болезни и вредители хвойных насаждений на территории Пермского городского лесничества / Т. А. Бойко, С. Ю. Бердинских, Т. Р. Корж // Экология урбанизированных территорий. – 2022. – № 4. – С. 13–17.
12. Буй, Д. Д. Листоядные чешуекрылые насекомые (Lepidoptera) в Санкт-Петербурге: новые угрозы для насаждений / Д. Д. Буй, Л. Н. Щербакова, М. Ю. Мандельштам, Д. Л. Мусолин, А. В. Селиховкин // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы Всерос. V науч.-техн. конф.-вебинара. – СПб., 2020. – С. 47–49.
13. Галасьева, Т. В. Комплексные очаги листогрызущих насекомых лесопарка «Измайлово» г. Москвы / Т. В. Галасьева, Г. С. Лебедева, В. М. Сураппаева // Научные труды Московского государственного университета леса. Использование и воспроизводство лесных ресурсов. – 1998. – Вып. 289. – С. 191–193.
14. Глинушкин, А. П. Влияние урбанизации на фитосанитарное состояние ильмовых насаждений Волгоградской агломерации / А. П. Глинушкин, И. Ю. Подковыров // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2018. – С. 249–253.
15. Гордиенко, О. А. Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда / О. А. Гордиенко, И. В. Манаенков, А. В. Холоденко, Е. А. Иванцова // Почвоведение. – 2019. – № 11. – С. 1383–1393.
16. Грибуст, И. Р. Оптимизация регуляторной роли энтомофагов в дендрологических насаждениях / И. Р. Грибуст, А. В. Семенютина // Междуна-

родные научные исследования. – 2017. – № 1 (30). – С. 20–24.

17. Гусев, В. И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников / В. И. Гусев. – М. : Лесн. пром-сть. – 1984. – 472 с.

18. Ельникова, Ю. С. Особенности размещения насекомых в зеленых насаждениях Волгограда / Ю. С. Ельникова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – Вып. 196. – С. 139–145.

19. Иванцова, Е. А. Экологическая оценка разнообразия филофагов в насаждениях разных категорий г. Волгограда / Е. А. Иванцова, М. Т. Нгуен // Географические исследования в контексте социально-экономического развития регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Грозный, 2023. – С. 164–168.

20. Иванцова, Е. А. Характер взаимодействия компонентов антропогенно-трансформированных экосистем юга России / Е. А. Иванцова, В. В. Новоцадов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3 (55). – С. 79–86.

21. Иванцова, Е. А. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития / Е. А. Иванцова, М. В. Постнова, В. А. Сагалаев, А. А. Матвеева, А. В. Холоденко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 143–156. – DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13>

22. Каплич, В. М. Эколого-фаунистическая оценка насекомых-вредителей городских зеленых насаждений северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси / В. М. Киплич, А. Д. Власенко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 1 (240). – С. 79–87.

23. Клауснитцер, Б. Экология городской фауны / Б. Клауснитцер. – М. : Мир, 1990. – 248 с.

24. Куликова, Е. Г. Влияние антропогенных факторов на формирование комплексов вредителей в разных типах городских насаждений Москвы / Е. Г. Куликова // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы : тез. докл. – М., 1996. – Т. 1. – С. 152–155.

25. Леонтьева, И. А. Обзор фауны галлообразующих членистоногих городских зеленых насаждений г. Елабуги / И. А. Леонтьева, И. А. Яковлева // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 180–187.

26. Мамаев, Н. А. Вторая вспышка размножения тополёвой нижнесторонней моли-пестрянки

*Phyllonorycter populifoliella* в Санкт-Петербурге / Н. А. Мамаев, Динь Дык Буй, А. В. Селиховкин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Вып. 233. – С. 81–94.

27. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния леса / под ред. А. Д. Маслова. – Пушкино : Изд-во ВНИИЛМ, 2006. – 108 с.

28. Мусолин, Д. Л. Изменение естественных ареалов насекомых в условиях современного потепления климата / Д. Л. Мусолин, А. Х. Саулич // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – Вып. 196. – С. 249–254.

29. Мясникова, А. В. Дендрофильные насекомые парков г. Санкт-Петербурга / А. В. Мясникова, Ю. С. Подоляцкая // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – № 182. – С. 228–237.

30. Овсянкин, Р. В. Воздействие антропогенной нагрузки на насаждения в функциональных зонах урбанизированной среды г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 350–356.

31. Овсянкин, Р. В. Состояние зеленых насаждений в промышленной зоне г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 119–127.

32. Овсянкин, Р. В. Состояние древесных насаждений южной промзоны г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 544–547.

33. Петров, Д. Л. Комплексная оценка уровней вредоносности инвазивных видов дендрофильных тератформирующих эриофиоидных клещей (Acariformes: Eriophyidae) в зеленых насаждениях Беларуси / Д. Л. Петров // Зоологические чтения – 2019 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно, 2019. – С. 42–49.

34. Пономарев, В. И. Влияние урбанизированной среды на динамику плотности лесных насекомых-филофагов / В. И. Пономарев, Г. И. Клобуков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2013. – № 205. – С. 42–53.

35. Рыжая, А. В. Членистоногие-фитофаги, повреждающие зеленые насаждения г. Гродно (Беларусь) / А. В. Рыжая, Е. И. Гляковская // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 3. – С. 38–46.

36. Селиховкин, А. В. Видовой состав и динамика плотности популяций доминирующих чешуекрылых-дендрофагов в Санкт-Петербурге и его ок-

рестностях / А. В. Селиховкин, С. В. Барышникова, Н. В. Денисова, Ю. А. Тимофеева // Энтомологическое обозрение. – 2018. – Т. ХСVII, № 4. – С. 617–639.

37. Селиховкин, А. В. Ответные реакции насекомых-дендрофагов на промышленное загрязнение воздуха / А. В. Селиховкин // Биосфера. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 47–76.

38. Серый, Г. А. Массовые размножения ильмового листопада в Волгоградской области / Г. А. Серый // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2009. – Вып. 187. – С. 304–310.

39. Серый, Г. А. Комплекс листоверток (Lepidoptera, Tortricidae) и их динамика очагов массового размножения в Волгоградской области / Г. А. Серый, Е. Ю. Бондаренко // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2017. – С. 199–207.

40. Симоненкова, В. А. Особенности видового состава вредителей и возбудителей болезней древесно-кустарниковых растений в условиях городской среды (на примере зеленых растений г. Оренбурга) / В. А. Симоненкова, В. Н. Симоненкова, В. С. Симоненков // Теория и практика современной аграрной науки : материалы V Нац. (Всерос.) науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск, 2022. – С. 461–464.

41. Тихонова, А. А. Оценка жизненного состояния древесной растительности санитарно-защитной зоны АО «ФНПЦ “Титан-Баррикады”» в Волгограде / А. А. Тихонова, Е. А. Иванцова // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 3. – С. 22–27.

42. Токарева, Т. Г. Повреждаемость древесных насаждений в урбанизированной среде (на примере г. Волгограда) / Т. Г. Токарева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 11. – С. 29–32.

43. Федорова, О. А. Повреждение кроны деревьев насекомыми-филлофагами на объектах озеленения г. Томска / О. А. Федорова, О. Л. Конусова // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 4 (79). – С. 118–121.

44. Чехонина, О. Б. Видовой состав комплексов эндобионтных филлофагов липы и его сезонные изменения в зеленых насаждениях г. Москвы / О. Б. Чехонина // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. – № 2. – 2002. – С. 72–80.

45. Шевченко, С. В. Листоядные членистоногие на вязах (*Ulmus*) в Санкт-Петербурге / С. В. Шевченко, Л. Н. Щербакова // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах : материалы Всерос. конф. с междунар. участием. – СПб., 2020. – С. 359–360.

46. Щербакова, Л. Н. Экологические группы дендрофагов в зеленых насаждениях Санкт-Петербурга / Л. Н. Щербакова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2009. – № 187. – С. 334–341.

47. Юркина, Е. В. Разнообразие и характеристика экологических ниш беспозвоночных животных в условиях крупных городов северных территорий России (на примере г. Сыктывкара) / Е. В. Юркина, Е. М. Ефремова // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2013. – № 6. – С. 53–62.

48. Dispersal and Larval Hosts of the Zigzag Sawfly *Aproceros leucopoda* (Hymenoptera) in Slovakia, Central Europe / M. Zúbrik [et al.]. – 2017. – Vol. 119. – P. 55–62.

49. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies / E. A. Ivantsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions. – 2019. – Art. 012036.

50. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction / N. V. Onistratenko [et al.] // Ekologia Bratislava. – 2016. – Vol. 35, № 3. – P. 205–212.

## REFERENCES

1. Aksyonenko E.V., Kornev I.I., Budaeva A.V., Kondratyeva A.M. Zoogeograficheskiy analiz kompleksa invazionnyh nasekomyh fauny Voronezhskoj oblasti [Zoogeographic Analysis of the Complex of Invasive Insects of the Fauna of the Voronezh Region]. *Sintez nauki i obrazovaniya v reshenii ekologicheskikh problem sovremennosti: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Synthesis of Science and Education in Solving Environmental Problems of Our Time. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Voronezh, 2022, pp. 58-65.

2. Alpackaya Yu.I. Sanitarnoe sostoyanie nasazhdenij i dinamika ochagov vreditelej v Sholohovskom lesnichestve Rostovskoj oblasti [Sanitary Condition of Plantings and Dynamics of Pest Foci in the Sholokhov Forestry of the Rostov Region]. *Lesohozyajstvennaya informaciya* [Forestry Information], 2016, no. 1, pp. 35-41.

3. Antyhova O.V. Formirovanie entomoakarokompleksa dekorativnyh drevesnyh kultur v Pridnestrovye [Formation of an Entomocarocomplex of Decorative Tree Crops in Transnistria]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* [Subtropical and Ornamental Gardening], 2022, no. 82, pp. 168-180.

4. Barannik A.P. *Nasekomye zelenyh nasazhdenij promyshlennyh gorodov Kemerovskoj*

*oblasti* [Insects of Green Spaces of Industrial Cities of the Kemerovo Region]. Kemerovo, KGU, 1981. 67 p.

5. Belickaya M.N., Gribust I.R. Dendrofagi lesomeliorativnykh kompleksov s uchastiem drevesnykh introducentov v usloviyah zasushlivoj zony [Dendrophages of Forest-Reclamation Complexes with the Participation of Tree Introducers in Arid Zone Conditions]. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii* [Socio-Ecological Technologies], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 343-361.

6. Belickaya M.N., Ivancova E.A. Fauna entomofagov v lesoagrarnykh landshtafah aridnoj zony [Fauna of Entomophages in the Forest-Agrarian Landscapes of the Arid Zone]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki* [Bulletin of the Volgograd State University. Series 11: Natural Sciences], 2012, no. 2 (4), pp. 50-55.

7. Belickaya M.N., Fedotova Z.A., Nefedyeva E.E. Galloobrazuyushchie vrediteli drevesnykh rastenij nasazhdenij aridnoj zony [Gallo-Forming Pests of Woody Plants of Arid Zone Plantations]. *Paradigma* [Paradigm], 2016, no. 2, pp. 207-212.

8. Belov D.A., Belova N.K. Sostoyanie nasazhdenij na bulvarnom kolce g. Moskvy [The State of Plantings on the Boulevard Ring of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik* [State University of Forests. Forest Bulletin], 2015, vol. 19, no. 1, pp. 152-161.

9. Bogacheva I.A., Zamshina G.A., Nikolaeva N.V. Massovye i mnogochislennye nasekomye-fillofagi derevyev i kustarnikov Ekaterinburga [Massive and Numerous Insects-Phyllophages of Trees and Shrubs of Yekaterinburg]. *Fauna Urala i Sibiri* [Fauna of the Urals and Siberia], 2018, no. 1, pp. 46-73.

10. Bogoduhov P.M. Bioraznoobrazie entomofauny v sanitarno-zashchitnoj zone Volgogradskogo alyuminievogo zavoda [Biodiversity of Entomofauna in the Sanitary Protection Zone of the Volgograd Aluminum Plant]. *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva* [Bulletin of the V.N. Tatishchev Volga State University], 2013, no. 4 (14), vol. 1, pp. 3-10.

11. Bojko T.A., Berdinskih S.Yu., Korzh T.R. Bolezni i vrediteli hvojnnykh nasazhdenij na territorii Permskogo gorodskogo lesnichestva [Diseases and Pests of Coniferous Plantations on the Territory of the Perm Urban Forestry]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorij* [Ecology of Urbanized Territories], 2022, no. 4, pp. 13-17.

12. Buj D.D., Shcherbakova L.N., Mandelshtam M.Yu., Musolin D.L., Selihovkin A.V. Listoyadnye cheshuekrylye nasekomye (Lepidoptera) v Sankt-Peterburge: novye ugrozy dlya nasazhdenij [Deciduous Lepidoptera Insects (Lepidoptera) in St. Petersburg: New Threats to Plantings]. *Les Rossii:*

*politika, promyshlennost, nauka, obrazovanie: materialy Vseros. V nauch.-tekhn. konf.-vebinara* [Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education. Proceedings of the All-Russian 5<sup>th</sup> Scientific and Technical Conference-Webinar]. Saint Petersburg, 2020, pp. 47-49.

13. Galasyeva T.V., Lebedeva G.S., Surappaeva V.M. Kompleksnye ochagi listogryzushchikh nasekomykh lesoparka «Izmajlovo» g. Moskvy [Complex Foci of Leaf-Eating Insects of the Izmailovo Forest Park in Moscow]. *Nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Ispolzovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov* [Scientific Works of the Moscow State University of Forests. Use and Reproduction of Forest Resources], 1998, iss. 289, pp. 191-193.

14. Glinushkin A.P., Podkovyrov I.Yu. Vliyanie urbanizatsii na fitosanitarnoe sostoyanie ilmovykh nasazhdenij Volgogradskoj aglomeratsii [The Influence of Urbanization on the Phytosanitary Condition of the Elm Plantations of the Volgograd Agglomeration]. *Mirovye nauchno-tekhnologicheskie tendentsii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya APK i selskikh territorij: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [World Scientific and Technological Trends in the Socio-Economic Development of Agriculture and Rural Areas. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2018, pp. 249-253.

15. Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Holodenko A.V., Ivancova E.A. Kartografirovaniye i ochenka stepeni zapechatannosti pochv goroda Volgograda [Mapping and Assessment of the Degree of Sealing of the Soils of the City of Volgograd]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2019, no. 11, pp. 1383-1393.

16. Gribust I.R., Semenyutina A.V. Optimizatsiya reguljatornoj roli entomofagov v dendrologicheskikh nasazhdeniyah [Optimization of the Regulatory Role of Entomophages in Dendrological Plantings]. *Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya* [International Scientific Research], 2017, no. 1 (30), pp. 20-24.

17. Gusev V.I. *Opredelitel povrezhdenij lesnykh, dekorativnykh i plodovykh derevyev i kustarnikov* [Determinant of Damage to Forest, Ornamental and Fruit Trees and Shrubs]. Moscow, Lesn. prom-st Publ., 1984. 472 p.

18. Elnikova Yu.S. Osobennosti razmeshcheniya nasekomykh v zelenykh nasazhdeniyah Volgograda [Features of Insect Placement in the Green Spaces of Volgograd]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2011, iss. 196, pp. 139-145.

19. Ivantsova E.A., Nguen M.T. Ekologicheskaya ochenka raznoobraziya fillofagov v nasazhdeniyah raznykh kategorij g. Volgograda [Ecological Assessment of the Diversity of Phyllophages in Plantings of Different

Categories in Volgograd]. *Geograficheskie issledovaniya v kontekste socialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Geographical Studies in the Context of Socio-Economic Development of Regions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Grozny, 2023, pp. 164-168.

20. Ivantsova E.A., Novochadov V.V. Harakter vzaimodejstviya komponentov antropogennotransformirovannykh ekosistem yuga Rossii [The Nature of the Interaction of Components of Anthropogenically Transformed Ecosystems of the South of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [News of the Nizhnevolzhsky Agrouniversitetskiy Complex: Science and Higher Professional Education], 2019, no. 3 (55), pp. 79-86.

21. Ivantsova E.A., Postnova M.V., Sagalaev V.A., Matveeva A.A., Holodenko A.V. Ekologicheskaya ocenka gorodskih aglomeracij na osnove indikatorov ustojchivogo razvitiya [Ecological Assessment of Urban Agglomerations Based on Indicators of Sustainable Development]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya* [Bulletin of Volgograd State University. Series 3: Economics. Ecology], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13>

22. Kaplich V.M., Vlasenko A.D. Ekologo-faunisticheskaya ocenka nasekomyh-vreditel'ev gorodskih zelenykh nasazhdenij severnogo i severo-centralnogo rajonov introdukcii Belarusi [Ecological and Faunistic Assessment of Insect Pests of Urban Green Spaces of the Northern and North-Central Regions of the Introduction of Belarus]. *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodnopolzovanie i pererabotka vozobnovlyаемых resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, Environmental Management and Processing of Renewable Resources], 2021, no. 1 (240), pp. 79-87.

23. Klausnitser B. *Ekologiya gorodskoj fauny* [Ecology of Urban Fauna]. Moscow, Mir Publ., 1990. 248 p.

24. Kulikova E.G. Vliyanie antropogennykh faktorov na formirovanie kompleksov vreditel'ev v raznykh tipah gorodskih nasazhdenij Moskvy [The Influence of Anthropogenic Factors on the Formation of Pest Complexes in Different Types of Urban Plantings in Moscow]. *Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya i drugih antropogennykh i prirodnykh faktorov na destabilizaciyu sostoyaniya lesov Centralnoj i Vostochnoj Evropy: tez. dokl.* [The Influence of Atmospheric Pollution and Other Anthropogenic and Natural Factors on the Destabilization of the Forests of Central and Eastern Europe. Abstracts]. Moscow, 1996, vol. 1, pp. 152-155.

25. Leontyeva I.A., Yakovleva I.A. Obzor fauny galloobrazuyushchih chlenistonogih gorodskih zelenykh nasazhdenij g. Elabugi [Overview of the Fauna of the Gallo-Forming Arthropods of the Urban Green Spaces of Yelabuga]. *Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya* [The Successes of Modern Science and Education], 2017, vol. 8, no. 4, pp. 180-187.

26. Mamaev N.A., Buj Din Dyk, Selihovkin A.V. Vtoraya vspyshka razmnozheniya topolyovoj nizhnestoronnej moli-pestryanki Phyllonorycter populifoliella v Sankt-Peterburge [The Second Outbreak of Reproduction of the Poplar Lower-Sided Moth Phyllonorycter populifoliella in St. Petersburg]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2020, vol. 233, pp. 81-94.

27. Maslov A.D., ed. *Metodicheskie rekomendacii po nadzoru, uchetu i prognozu massovykh razmnozhenij stvolovykh vreditel'ev i sanitarnogo sostoyaniya lesa* [Methodological Recommendations for Supervision, Recording and Forecasting of Mass Reproduction of Stem Pests and the Sanitary Condition of the Forest]. Pushkino, Izd-vo VNIILM, 2006. 108 p.

28. Musolin D.L., Saulich A.H. Izmenenie estestvennykh arealov nasekomykh v usloviyah sovremennogo potepeniya klimata [Changes in the Natural Habitats of Insects in the Conditions of Modern Climate Warming]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2014, vol. 196, pp. 249-254.

29. Myasnikova A.V., Podolyackaya Yu.S. Dendrofilnye nasekomye parkov g. Sankt-Peterburga [Dendrophilous Insects of the Parks of St. Petersburg]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2008, no. 182, pp. 228-237.

30. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Vozdejstvie antropogennoj nagruzki na nasazhdeniya v funkcionalnykh zonah urbanizirovannoj sredy g. Volgograda [The Impact of Anthropogenic Load on Plantings in the Functional Zones of the Urbanized Environment of Volgograd]. *Ekologicheskaya bezopasnost i ohrana okruzhayushchej sredy v regionah Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in the Regions of Russia: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 350-356.

31. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Sostoyanie zelenykh nasazhdenij v promyshlennoj zone g. Volgograda [The State of Green Spaces in the Industrial Zone of Volgograd]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*

[Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2016, no. 2 (42), pp. 119-127.

32. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Sostoyanie drevesnyh nasazhdenij yuzhnoj promzony g. Volgograda [The State of Tree Plantations in the Southern Industrial Zone of Volgograd]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of the Regions], 2014, vol. 10, no. 2, pp. 544-547.

33. Petrov D.L. Kompleksnaya ocenka urovnej vredonosnosti invazivnyh vidov dendrofilnyh teratformiruyushchih eriofioidnyh kleshchej (Acariformes: Eriophyidae) v zelenykh nasazhdeniyah Belarusi [Comprehensive Assessment of the Levels of Harmfulness of Invasive Species of Dendrophilous Teratforming Eriophyoid Mites (Acariformes: Eriophyidae) in the Green Spaces of Belarus]. *Zoologicheskie chteniya – 2019: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Zoological Readings – 2019. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Grodno, 2019, pp. 42-49.

34. Ponomarev V.I., Klobukov G.I. Vliyanie urbanizirovannoy sredy na dinamiku plotnosti lesnyh nasekomyh-fillofagov [The Influence of Urbanized Environment on the Dynamics of the Density of Forest Insects-Phyllophages]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2013, no. 205, pp. 42-53.

35. Ryzhaya A.V., Glyakovskaya E.I. Chlenistonogie-fitofagi, povrezhdayushchie zelenye nasazhdeniya g. Grodno (Belarus) [Arthropods-Phytophages That Damage Green Spaces in Grodno (Belarus)]. *Socialno-ekologicheskie tekhnologii* [Socio-Ecological Technologies], 2016, no. 3, pp. 38-46.

36. Selihovkin A.V., Baryshnikova S.V., Denisova N.V., Timofeeva Yu.A. Vidovoj sostav i dinamika plotnosti populyacij dominiruyushchih cheshuekrylyh-dendrofagov v Sankt-Peterburge i ego okrestnostyakh [Species Composition and Dynamics of Population Density of Dominant Lepidoptera-Dendrophages in St. Petersburg and Its Environs]. *Entomologicheskoe obozrenie* [Entomological Review], 2018, vol. XCVII, no. 4, pp. 617-639.

37. Selihovkin A.V. Otvetnye reakcii nasekomyh-dendrofagov na promyshlennoe zagryaznenie vozduha [Responses of Dendrophage Insects to Industrial Air Pollution]. *Biosfera* [Biosphere], 2013, vol. 5, no. 1, pp. 47-76.

38. Seryj G.A. Massovye razmnozheniya ilmovogo listoeda v Volgogradskoj oblasti [Mass Reproduction of the Elm Leaf Beetle in the Volgograd Region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2009, vol. 187, pp. 304-310.

39. Seryj G.A., Bondarenko E.Yu. Kompleks listovertok (Lepidoptera, Tortricidae) i ih dinamika ochagov massovogo razmnozheniya v Volgogradskoj oblasti [The Complex of Leafhoppers (Lepidoptera, Tortricidae) and Their Dynamics of Foci of Mass Reproduction in the Volgograd Region]. *Bioraznoobrazie i antropogennaya transformaciya prirodnyh ekosistem: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Biodiversity and Anthropogenic Transformation of Natural Ecosystems. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2017, pp. 199-207.

40. Simonenkova V.A., Simonenkova V.N., Simonenkov V.S. Osobennosti vidovogo sostava vreditelej i vzbuditelej boleznej drevesno-kustarnikovykh rastenij v usloviyah gorodskoj sredy (na primere zelenykh rastenij g. Orenburga) [Features of the Species Composition of Pests and Pathogens of Woody and Shrubby Plants in an Urban Environment (On the Example of Green Plants of Orenburg)]. *Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoy nauki: materialy V Nac. (Vseros.) nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Theory and Practice of Modern Agricultural Science. Proceedings of the 5<sup>th</sup> National (All-Russian) Scientific Conference with International Participation]. Novosibirsk, 2022, pp. 461-464.

41. Tihonova A.A., Ivantsova E.A. Ocenka zhiznennogo sostoyaniya drevesnoj rastitelnosti sanitarno-zashchitnoj zony AO «FNPC “Titan-Barrikady”» v Volgograde [Assessment of the Living Condition of Woody Vegetation of the Sanitary Protection Zone of “JSC ‘FNPC Titan-Barricades’” in Volgograd]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorij* [Ecology of Urbanized Territories], 2020, no. 3, pp. 22-27.

42. Tokareva T.G. Povrezhdaemost drevesnyh nasazhdenij v urbanizirovannoy srede (na primere g. Volgograda) [Damage of Tree Plantings in an Urbanized Environment (On the Example of Volgograd)]. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences], 2018, no. 11, pp. 29-32.

43. Fedorova O.A., Konusova O.L. Povrezhdenie krony derevyev nasekomymi-fillofagami na obyektah ozeleneniya g. Tomsk [Damage to the Crown of Trees by Phyllophagous Insects at Landscaping Facilities in Tomsk]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2013, no. 4 (79), pp. 118-121.

44. Chekhonina O.B. Vidovoj sostav kompleksov endobiontnykh fillofagov lipy i ego sezonnye izmeneniya v zelenykh nasazhdeniyah g. Moskvy [Species Composition of Complexes of Endobiont Phyllophages of Linden and Its Seasonal Changes in the Green Spaces of Moscow]. *Oboronnyj kompleks nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii* [Defense

Complex to Scientific and Technical Progress of Russia], 2002, no. 2, pp. 72-80.

45. Shevchenko S.V., Shcherbakova L.N. Listoyadnye chlenistonogie na vyazah (Ulmus) v Sankt-Peterburge [Deciduous Arthropods on Elms (Ulmus) in St. Petersburg]. *Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ih rol v lesnyh ekosistemah: materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Dendrobiont Invertebrates and Fungi and Their Role in Forest Ecosystems. Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation]. Saint Petersburg, 2020, pp. 359-360.

46. Shcherbakova L.N. Ekologicheskie gruppy dendrofagov v zelenykh nasazhdeniyah Sankt-Peterburga [Ecological Groups of Dendrophages in the Green Spaces of St. Petersburg]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2009, no. 187, pp. 334-341.

47. Yurkina E.V., Efremova E.M. Raznoobrazie i harakteristika ekologicheskikh nish bespozvonochnykh zhivotnykh v usloviyakh krupnykh gorodov severnykh territorij Rossii (na primere g. Syktyvkara) [Diversity and Characteristics of Ecological Niches of Invertebrates in

the Conditions of Large Cities of the Northern Territories of Russia (On the Example of Syktyvkar)]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of Forests. Forest Bulletin], 2013, no. 6, pp. 53-62.

48. Zúbrik M., Galko J., Gubka A., Rell S., Kunca A., Nikolov Ch., Vakula J., Leontovyč R., Lukáčik I., Sarvašová I., Zúbriková M., Špilda I. *Dispersal and Larval Hosts of the Zigzag Sawfly Aproceros leucopoda (Hymenoptera) in Slovakia, Central Europe*. 2017, vol. 119, pp. 55-62.

49. Ivantsova E.A., Matveeva A.A., Onistratenko N.V., Ovsyankin R.V. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions*, 2019, art. 012036.

50. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnikov D.A. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction. *Ekologia Bratislava*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212.

### Information About the Authors

**Nguyen Minh Chi**, Postgraduate Student, Department of Ecology and Nature Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation; Postgraduate Student, Mientrung University of Civil Engineering, Nguyen Du, 24, 56000 Tuy Hoa, Vietnam, saothang1086@gmail.com

**Elena A. Ivantsova**, Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ivantsova@volsu.ru

### Информация об авторах

**Мин Тъи Нгуен**, аспирант, кафедра экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация; аспирант, Строительный университет Мьентрунга, Нгуен Ду, 24, 56000 г. Туйхоа, Вьетнам, saothang1086@gmail.com

**Елена Анатольевна Иванцова**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ivantsova@volsu.ru



www.volsu.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

UDC 579.66:663.54

LBC 36.871.0

**ASSESSMENT OF THE LACTOSE-CONVERTING ABILITY OF YEAST  
*KLUYVEROMYCES LACTIS*, DEPENDING ON THE CONCENTRATION  
OF ZINC IN THE CULTIVATION MEDIUM**

**Kais S. Abbas**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Elizaveta S. Lushnikova**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Valerij V. Novochadov**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** The constantly increasing volumes of lactose-containing waste from the food industry, up to half of which ends up in wastewater, necessitate the development of biotechnologies for the fermentation of lactose from this raw material. Several such modifications use the possibility of increasing the activity of key lactose conversion enzymes by adding some biogenic trace elements to the culture medium. The article considers the effects of zinc on the efficiency of cheese whey fermentation by three commercial cultures of *Kluyveromyces lactis*. The efficiency of lactose utilization was assessed by its content in the culture medium before and after 5 days of fermentation. The *K. lactis* strain of the MicroMilk KF KL culture utilized 80.2–84.2% lactose. After the addition of zinc ions, these indicators ranged from 74.5 to 85.7%. The strain of the Zdoroteevo culture demonstrated the utilization of lactose in the control series in the range of 78.7–82.0%. After the addition of zinc ions at 2 MPC concentrations, utilization increased slightly, and after the addition of 5 MPC concentrations, we see values lower than the control ones. The lactose content in STANDA KL D cultures in the control series ranged from 41.5 to 59.0%; after addition of zinc ions at 2 MPC concentrations, it was from 50.5 to 69.0%; and after addition of 5 MPC, it was from 38.7 to 57.4%. Thus, the addition of zinc ions to *K. lactis* culture increases its lactose-converting ability at a concentration of 2 MPC and inhibits this ability if we use a concentration of 5 MPC. It is advisable to use the obtained data in developing a strategy for cleaning lactose-containing waste in the food industry

**Key words:** milk whey, environmental biotechnologies, bioethanol, renewable raw materials, *Kluyveromyces lactis*, zinc.

**Citation.** Abbas Kais S., Lushnikova E.S., Novochadov V.V. Assessment of the Lactose-Converting Ability of Yeast *Kluyveromyces Lactis*, Depending on the Concentration of Zinc in the Cultivation Medium. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 18-25. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

УДК 579.66:663.54

ББК 36.871.0

## ОЦЕНКА ЛАКТОЗО-КОНВЕРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДРОЖЖЕЙ *KLUYVEROMYCES LACTIS* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦИНКА В СРЕДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**Кайс Саттван Аббас**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Елизавета Сергеевна Лушникова**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Валерий Валерьевич Новочадов**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Постоянно возрастающие объемы отходов пищевой промышленности, содержащих лактозу, до половины которой в итоге попадает в сточные воды, обуславливают необходимость разработки более эффективных способов ее утилизации. Наиболее перспективные из них основаны на увеличении лактозо-конвертирующей способности микроорганизмов, прежде всего – дрожжей, используемых в данной экологической биотехнологии. Ряд таких модификаций использует возможность увеличения активности ключевых ферментов конвертации лактозы за счет добавления в среду ряда биогенных микроэлементов. В статье рассмотрены эффекты цинка на эффективность ферментации подсырной сыворотки тремя коммерческими культурами *Kluyveromyces lactis*, для чего оценивали содержание лактозы в культуральной среде до начала и спустя пять суток ферментации. Штамм *K. lactis* культуры MicroMilk KF KL утилизировал от 80,2 до 84,2 % лактозы, при добавлении ионов цинка эти показатели находились пределах от 74,5 до 85,7 %. Штамм культуры Здоротеєво продемонстрировал утилизацию лактозы в контрольной серии от 78,7 до 82,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК утилизация была несколько выше, при концентрации 5 ПДК – ниже значений в контроле. Содержание лактозы в культуры STANDA KL D в контрольной серии варьировало пределах от 41,5 до 59,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК – от 50,5 до 69,0 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – от 38,7 до 57,4 %. Таким образом, добавление ионов цинка в среду культивирования *K. lactis* в концентрации 2 ПДК несколько повышает лактозо-конвертирующую способность дрожжей, а в концентрации 5 ПДК – угнетает ее. Полученные данные целесообразно использовать при выработке стратегии очистки лактозо-содержащих отходов в пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** молочная сыворотка, экологические биотехнологии, биоэтанол, возобновляемое сырье, *Kluyveromyces lactis*, цинк.

**Цитирование.** Аббас Кайс С., Лушникова Е. С., Новочадов В. В. Оценка лактозо-конвертирующей способности дрожжей *Kluyveromyces lactis* в зависимости от концентрации цинка в среде культивирования // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 18–25. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

По оценкам BusinesStat, с 2019 по 2023 г. производство сыра в России увеличилось на 40 %, до 758 тыс. т ежегодно. Причиной этому стали санкции против России, поскольку до введения эмбарго на импортные сыры приходилось до 50 % всего объема российского рынка [1]. Ежедневно в мире производится более 100 т молочной сыворотки, которая является неизбежным отходом пищевой про-

мышленности. В настоящее время большая ее часть никак не используется и утилизируется путем простого слива, что наносит ощутимый вред окружающей среде [5; 10; 11]. По данным компании Kieselmann Rus, ущерб, наносимый природе одной тонной сыворотки, приравнивается к ущербу от 100 т обычных хозяйственно-бытовых стоков [6].

Трансформация лактозы в этанол позволяет завершить технологическую цепочку, тем самым сокращая существенно сокращая убытки и уменьшая ущерб от загрязнения окружающей среды [13; 14]. Кроме того, использование дрожжей для ферментации возобновляемой биомассы для производства биоэтанола является многообещающей тенденцией для развития новой энергетики [2; 7; 20].

В качестве биообъектов для ферментации лактозы в последнее время ученых и практиков привлекают дрожжи *Kluyveromyces lactis* [12; 18]. Впервые геном *K. lactis* был исследован в Институте Пастера в Париже путем секвенирования 588 коротких меток из двух случайных геномных библиотек, было идентифицировано 296 генов, из которых 292 – новых. Полный геном *K. lactis* был секвенирован в 2004 г. в рамках проекта «Génolevures» и включает примерно 5 300 генов [9; 12]. *K. lactis* рекомендовали себя как привлекательная микробная экспрессионная система для рекомбинантных белков в промышленных масштабах. Его гены *LAC* позволяют использовать недорогую сахарную лактозу в качестве единственного источника углерода и энергии [3].

**Цель работы** – в модельном эксперименте *in vitro* сопоставить эффективность утилизации лактозы тремя коммерческими штаммами дрожжей из сырьевой среды, содержащей 40 г/л и 80 г/л лактозы, в зависимо-

сти от концентрации ионов цинка в культуральной среде.

### Материал и методы

В работе для изучения лактозо-перерабатывающей способности основных использованы три коммерческих штамма дрожжей рода *K. lactis*:

- Здоротеevo (Россия);
- STANDA KL D (Франция);
- MicroMilk KF KL (Италия).

На этапе подготовки к культивированию были подготовлены две питательные среды – депротеинезированная нативная подсырная сыворотка А с содержанием лактозы 40 г/л и упаренная сыворотка В с содержанием лактозы 80 г/л. В каждой серии эти сыворотки ферментировались одной из дрожжевых культур с добавлением раствора  $ZnSO_4$  до конечной концентрации 10 мг/л (2 ПДК) и 25,0 мг/л ионов цинка (5 ПДК), соответственно. В каждую пробирку для культивирования было добавлено: питательная среда (сыворотка А или В) – 3 мл, дрожжевая суспензия – 1,75 мл и 0,25 мл добавочного раствора. Культивирование дрожжевых культур проводилось в закрытых химических пробирках при поддержании постоянной температуры в 37,5 °С в течение 5 суток. Каждая серия включала шесть повторов (см. таблицу).

**Состав модельных образцов**

Серия	Вид сыворотки	Вид дрожжевой культуры	Количество ионов $Zn^{+}$ в добавочном растворе
A1-0	Сыворотка А	Дрожжевая культура Здоротеevo	0 ПДК
A1-2			2 ПДК
A1-5			5 ПДК
A2-0		Дрожжевая культура STANDA KL D	0 ПДК
A2-2			2 ПДК
A2-5			5 ПДК
A3-0		Дрожжевая культура MicroMilk KF KL	0 ПДК
A3-2			2 ПДК
A3-5			5 ПДК
V1-0	Сыворотка В	Дрожжевая культура Здоротеevo	0 ПДК
V1-2			2 ПДК
V1-5			5 ПДК
V2-0		Дрожжевая культура STANDA KL D	0 ПДК
V2-2			2 ПДК
V2-5			5 ПДК
V3-0		Дрожжевая культура MicroMilk KF KL	0 ПДК
V3-2			2 ПДК
V3-5			5 ПДК

Лактозо-перерабатывающую способность дрожжей оценивали по содержанию лактозы в образцах адаптированным методом количественной оценки редуцирующих сахаров на основе спектрофотометрического метода Бенедикта [15; 17]. Для этого соединяли в пробирке 1 мл реактива Бенедикта и 0,25 мл образца, затем нагревали в течение 15 мин. при 95 °С, далее центрифугировали на 800 g в течение 5 мин. Супернатант разбавляли стерильной дистиллированной водой в соотношении 1:4 и проводили спектрофотометрическое измерение при длине волны 740 нм.

Статистическая обработка количественных результатов, после исключения нормального характера распределения в выборках, предусматривала расчет медианы, разброса между первым и третьим квартилем (Me, Q1 ÷ Q3)

и расчет показателя статистической значимости различий по критерию Манна-Уитни ( $p < 0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

Данные о содержании лактозы в модельных смесях после ферментации представлены на рисунках 1–3.

Эксперименты показали, что все тестируемые штаммы могут успешно производить этанол из лактозы. Культуры MicroMilk KF KL и Здоротеevo показали высокую лактозо-конвертирующую активность, в то время как культура STANDA KL D демонстрировала более низкие показатели. Так, за 5 суток штамм *K. lactis* культуры MicroMilk KF KL утилизировал 84,2 % и 80,2 % лактозы при ее содер-

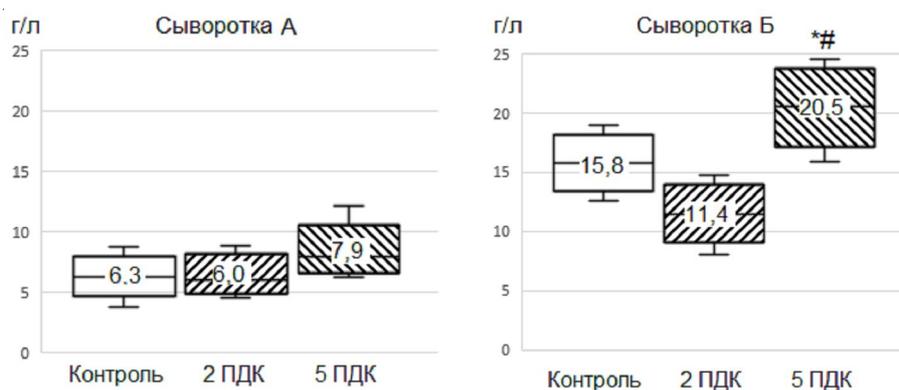


Рис. 1. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры MicroMilk KF KL на средах с различным содержанием ионов цинка

Примечание. Знаком \* здесь и на последующих рисунках отмечены достоверные различия с контролем; # – между группами с умеренным и высоким содержанием цинка в культуральной среде ( $p < 0,05$  по критерию Манна-Уитни).

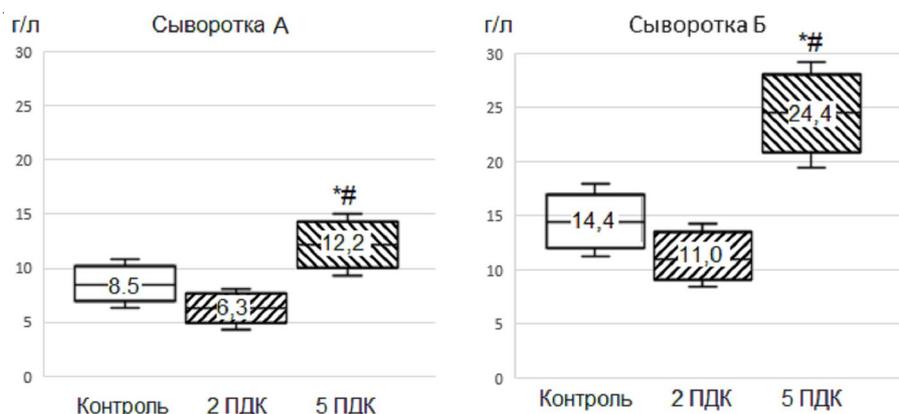


Рис. 2. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры Здоротеevo на средах с различным содержанием ионов цинка

жании в среде 40 г/л и 80 г/л, соответственно, при добавлении ионов цинка эти показатели варьировали в пределах от 74,5 до 85,7 %. Штамм культуры Здоротеєво продемонстрировал утилизацию лактозы в контрольной серии в пределах от 78,7 до 82,0%, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК несколько увеличивалась от 84,2 до 86,3 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – оказывались ниже контроля, менее 70,0 %.

Содержание лактозы в культуры STANDAKL D в контрольной серии варьировало пределах от 41,5 до 59,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК – от 50,5 до 69,0 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – от 38,7 до 57,4 %.

Дрожжи являются лидерами в биотехнологиях, основанных на ферментации. Они способны преобразовывать множество органических веществ из окружающей среды в совершенно новые, которые используются в различных сферах деятельности человека. Однако на этом пути микроорганизмы сталкиваются с несколькими типами стрессов, наиболее частыми из которых являются осмотический, стресс от недостатка питательных веществ и от накопления в среде токсических продуктов жизнедеятельности [19]. Из дрожжей наиболее востребованы в биотехнологии различные виды рода *Saccharomyces* [4; 11; 16], но для утилизации лактозы все чаще специалисты обращают внимание на представителей рода *Kluyveromyces* [12; 18]. В процессе ферментации они, как и любые дрожжи, под-

вергаются воздействию стрессирующих ряда факторов, которые могут уменьшить активность их ферментов и, в итоге – снизить эффективность биотехнологического процесса [16].

Как известно, цинк является важным элементом для нормального роста, метаболизма и физиологии дрожжей. Помимо того, что он действует как кофактор для многих ферментов, цинк также необходим для структурной стабильности белков цинкового пальца, многие из которых оказывают важное влияние на клеточные метаболические процессы [8]. Недавние результаты демонстрируют участие белков цинкового пальца в клеточных стрессовых реакциях, с акцентом на повышение стрессоустойчивости дрожжей при производстве биоэтанола [19]. Глубокое понимание роли цинка в перепрограммировании метаболической сети дрожжей жизненно важно для выведения устойчивых штаммов дрожжей для сбраживания этанола, а также для улучшения качества продукции.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют считать, что современные штаммы *K. lactis* способны к конверсии лактозы в этанол, и в этой способности существенно превосходят классические спиртообразующие штаммы *S. cerevisiae*. Высокие показатели лактозо-перерабатывающей способности получены для дрожжевых культур MicroMilk KF KL и Здоротеєво, у которых утилизация лактозы нахо-

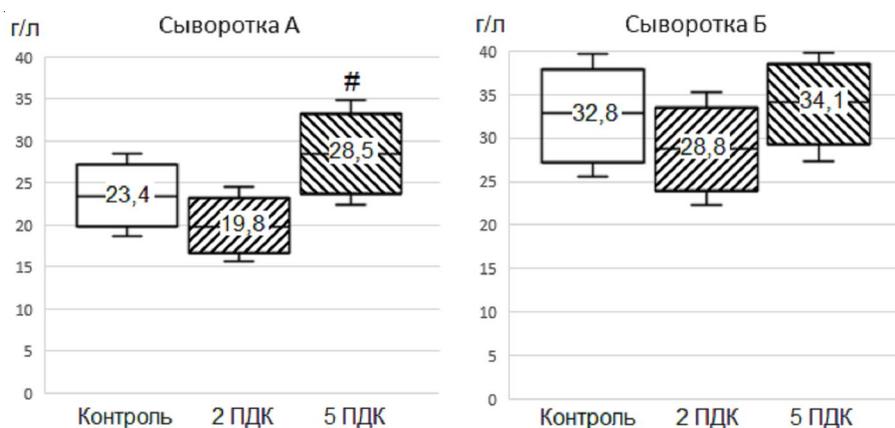


Рис. 3. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры STANDAKL D на средах с различным содержанием ионов цинка

дится вблизи или превышает 80 %. Для дрожжевых культур *K. lactis* добавление ионов цинка в среду культивирования в концентрации 2 ПДК немного повышает лактозо-перерабатывающую способность дрожжей, а в концентрации 5 ПДК – угнетает ее. Полученные данные целесообразно использовать при разработке стратегии очистки лактозо-содержащих отходов в пищевой промышленности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ рынка сыров в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг. Структура розничной торговли // *BusinesStat*. – 2023. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/research/27985/>. – Загл. с экрана.
2. Исина, Н. Ю. Финансовый механизм внедрения эколого-ориентированной технологии переработки молочной сыворотки / Н. Ю. Исина // *Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 90. – С. 111–119.
3. Молекулярный полиморфизм генов *gal*-галактозидазы LAC4 у молочных и природных штаммов дрожжей *Kluyveromyces* / Л. В. Лютова [и др.] // *Молекулярная биология*. – 2021. – Т. 55, № 1. – С. 75–85. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026898421010109>
4. Оценка эффективности процесса биосинтеза этанола дрожжами рода *Saccharomyces* / И. В. Калинина [и др.] // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 74–82. – DOI: <https://doi.org/10.14529/food180410>
5. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review / A. Bušić [et al.] // *Food Technol. Biotechnol.* – 2018. – Vol. 56, № 3. – P. 289–311. – DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
6. Bioethanol Production from Renewable Sources: Current Perspectives and Technological Progress / H. Zabed [et al.] // *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2017. – Vol. 71. – P. 475–501. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
7. Bioprospecting of Microbial Strains for Biofuel Production: Metabolic Engineering, Applications, and Challenges / M. F. Adegboye [et al.] // *Biotechnol. Biofuels*. – 2021. – Vol. 14, № 1. – e5. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01853-2>
8. Cellular Stress Impact on Yeast Activity in Biotechnological Processes – A Short Overview / M. Postaru [et al.] // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, № 10. – e2522. – DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102522>
9. Genome-Wide Metabolic (Re-) Annotation of *Kluyveromyces lactis* / O. Dias [et al.] // *BMC Genomics*. – 2012. – Vol. 13. – e517. – DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-517>
10. Ethanol Production from Cheese Whey and Expired Milk by the Brown Rot Fungus *Neolentinus lepideus* / K. Okamoto [et al.] // *Fermentation*. – 2019. – Vol. 5, № 2. – e49. – DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5020049>
11. Fermentation of Lactose to Ethanol in Cheese Whey Permeate and Concentrated Permeate by Engineered *Escherichia coli* / L. Pasotti [et al.] // *BMC Biotechnology*. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 48–57. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0369-y>
12. *Kluyveromyces marxianus* Developing Ethanol Tolerance During Adaptive Evolution with Significant Improvements of Multiple Pathways / W. Mo [et al.] // *Biotechnol Biofuels*. – 2019. – Vol. 12. – P. 63–72. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1393-z>
13. Papademas, P. Technological Utilization of Whey Towards Sustainable Exploitation / P. Papademas, P. Kotsaki // *Adv. Dairy Res.* – 2019. – Vol. 7, iss 4. – e231. – DOI: <https://doi.org/10.35248/2329-888X.19.7.231>
14. Promising Renewable Raw for Ethanol Biosynthesis / Yu. A. Zimina [et al.] // *Eur. J. Mol. Biotech.* – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 42–51. – DOI: <https://doi.org/10.13187/ejmb.2020.1.42>
15. Quantification of Reducing Sugars Based on the Qualitative Technique of Benedict / A. Hernández-Lypez [et al.] // *ACS Omega*. – 2020. – Vol. 5, № 50. – P. 32403–32410. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04467>
16. Selection and Subsequent Physiological Characterization of Industrial *Saccharomyces cerevisiae* Strains During Continuous Growth at Sub- and Supra Optimal Temperatures / K. Y. F. Lip [et al.] // *Biotechnol. Rep. (Amst)*. – 2020. – Vol. 26. – e00462. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>
17. Simoni, R. D. Benedict's Solution, a Reagent for Measuring Reducing Sugars: the Clinical Chemistry of Stanley R. Benedict / R. D. Simoni, R. L. Hill, M. Vaughan // *Journal of Biological Chemistry*. – 2002. – Vol. 277, № 16. – P. 33–45. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)61050-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)61050-1)
18. Vu, H. H., Structural Basis for Substrate Recognition of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from *Kluyveromyces lactis* / H. H. Vu, C. Jin, J. H. Chang // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* – 2021. – Vol. 155, № 1. – P. 85–91. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.02.088>
19. Walker, G. M. Mitigating Stress in Industrial Yeasts / G. M. Walker, T. O. Basso // *Fungal Biol.* – 2020. – Vol. 124, № 5. – P. 387–397. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.10.010>
20. Zandona, E. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / E. Zandona, M. Blažič, A. Rehek Jambrak // *Food Technol. Biotechnol.* – 2021. – Vol. 59, № 2. – P. 147–161. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>

## REFERENCES

1. Analiz rynka syrov v Rossii v 2019–2023 gg, prognoz na 2024–2028 gg. Struktura roznichnoy torgovli [Analysis of the Cheese Market in Russia in 2019–2023, Forecast for 2024–2028. The Structure of Retail Trade]. *BusinessStat*, 2023. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/27985/>
2. Isina N.Yu. Finansovyy mekhanizm vnedreniya ekologo-orientirovannoy tekhnologii pererabotki molochnoy syvorotki [Financial Mechanism for the Implementation of Ecologically Orientated Technology of Milk Whey Processing]. *Trudy Kostromskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* [Proceedings of the Kostroma State Agricultural Academy], 2020, iss. 90, pp. 111–119.
3. Lyutova L.V., Naumov G.I., Shnyreva A.V., Naumova E.S. Molekulyarnyy polimorfizm genov v-galaktozidazy LAC4 u molochnykh i prirodnykh shtammov drozhzhey Kluyveromyce [Molecular Polymorphism of B-Galactosidase LAC4 Genes in Dairy and Natural Strains of Kluyveromyces Yeasts]. *Molekulyarnaya biologiya*, 2021, vol. 55, no. 1, pp. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026898421010109>
4. Kalinina I.V., Fatkullin R.I., Popova N.V., Sharipova A.R. Otsenka effektivnosti protsessa biosinteza etanola drozhzhami roda Saccharomyces [The Analysis on Efficiency of Ethanol Biosynthesis by Saccharomyces Yeast]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Pishchevyye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology], 2018, vol. 6, no. 4, pp. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.14529/food180410>
5. Bušić A., Marđetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivančić Šantek M., Komes D., Novak S., Šantek B. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *Food Technol. Biotechnol.*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 289–311. DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
6. Zabed H., Sahu J., Akter S., Boyce A.N., Faruq G. Bioethanol Production from Renewable Sources: Current Perspectives and Technological Progress. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2017, vol. 71, pp. 475–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
7. Adegboye M.F., Ojuederie O.B., Talia P.M., Babalola O.O. Bioprospecting of Microbial Strains for Biofuel Production: Metabolic Engineering, Applications, and Challenges. *Biotechnol. Biofuels.*, 2021, vol. 14, no. 1, e5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01853-2>
8. Postaru M., Tucaliuc A., Cascaval D., Galaction A.I. Cellular Stress Impact on Yeast Activity in Biotechnological Processes – A Short Overview. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, no. 10, e2522. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102522>
9. Dias O., Gombert A.K., Ferreira E.C., Rocha I. Genome-Wide Metabolic (Re-) Annotation of Kluyveromyces Lactis. *BMC Genomics*, 2012, vol. 13, e517. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-517>
10. Okamoto K., Nakagawa S., Kanawaku R., Kawamura S. Ethanol Production from Cheese Whey and Expired Milk by the Brown Rot Fungus *Neolentinus lepideus*. *Fermentation*, 2019, vol. 5, no. 2, e49. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5020049>
11. Pasotti L., Zucca S., Casanova M., Micoli G., Cusella De Angelis M.G., Magni P. Fermentation of Lactose to Ethanol in Cheese Whey Permeate and Concentrated Permeate by Engineered *Escherichia coli*. *BMC Biotechnology*, 2017, vol. 17, no 1, pp. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0369-y>
12. Mo W., Wang M., Zhan R., Yu Y., He Y., Lu H. Kluyveromyces Marxianus Developing Ethanol Tolerance During Adaptive Evolution with Significant Improvements of Multiple Pathways. *Biotechnol Biofuels*, 2019, vol. 12, pp. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1393-z>
13. Papademas P., Kotsaki P. Technological Utilization of Whey Towards Sustainable Exploitation. *Adv. Dairy Res.*, 2019, vol. 7, iss. 4, e231. DOI: <https://doi.org/10.35248/2329-888X.19.7.231>
14. Zimina Y.A., Postnova M.V., Abbas Kais S., Abbas Kasym S., Ivanova G.S., Novochadov V.V. Promising Renewable Raw for Ethanol Biosynthesis. *Eur. J. Mol. Biotech.*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 42–51. DOI: <https://doi.org/10.13187/ejmb.2020.1.42>
15. Hernández-López A., Sánchez Félix D.A., Zuñiga Sierra Z. García Bravo I., Dinkova T.D., Avila-Alejandre A.X. Quantification of Reducing Sugars Based on the Qualitative Technique of Benedict. *ACS Omega*, 2020, vol. 5, no. 50, pp. 32403–32410. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04467/>
16. Lip K.Y.F., Garcia-Rhos E., Costa C.E., Guillamyn J.M., Domingues L., Teixeira J., van Gulik W.M. Selection and Subsequent Physiological Characterization of Industrial Saccharomyces cerevisiae Strains During Continuous Growth at Sub- and- Supra Optimal Temperatures. *Biotechnol. Rep. (Amst.)*, 2020, vol. 26, e00462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>
17. Simoni R.D., Hill R.L., Vaughan M. A Benedict's Solution, a Reagent for Measuring Reducing Sugars: the Clinical Chemistry of Stanley R. Benedict. *Journal of Biological Chemistry*, 2002, vol. 277, no. 16, pp. 33–45. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)61050-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)61050-1)
18. Vu H.H., Jin C., Chang J.H. Structural Basis for Substrate Recognition of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from Kluyveromyces lactis. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 2021, vol. 155, no. 1, pp. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.02.088>
19. Walker G.M., Basso T.O. Mitigating Stress in Industrial Yeasts. *Fungal Biol.*, 2020, vol. 124, no. 5, pp. 387–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.10.010>
20. Zandona E., Blahizh M., Rehek Jambrak A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technol. Biotechnol.*, 2021, vol. 59, no. 2, pp. 147–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>

### Information About the Authors

**Kais S. Abbas**, Postgraduate Student, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, qays.abas90@gmail.com

**Elizaveta S. Lushnikova**, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, lizalushnikova01@yandex.ru

**Valerij V. Novochadov**, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, novochadov.valeriy@volsu.ru

### Информация об авторах

**Кайс Саттван Аббас**, аспирант кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, qays.abas90@gmail.com

**Елизавета Сергеевна Лушникова**, студент, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, lizalushnikova01@yandex.ru

**Валерий Валерьевич Новочадов**, доктор медицинских наук, профессор кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, novochadov.valeriy@volsu.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.3>

УДК 631.587(075.3)

ББК 41.41

## FERTIRRIGATION TECHNOLOGY ON VINEYARDS WITH ECONOMY OF WATER AND FERTILIZERS FOR HIGH-QUALITY PRODUCTION OF GRAPE

Lamia M. Mirsalakhova

Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Azerbaijan

**Abstract.** The article provides information about the origin and essence of the word *fertirrigation*, the use of inorganic, solid fertilizers to obtain high yields from agricultural plants, as well as the use of fertilizers by dissolving them in water. Theoretical information on fertirrigation has shown that by dissolving fertilizers in water and introduced into the soil through the roots of plants, not only the productivity of the plant increases, but also the soil is enriched with nutrients for subsequent years. It was noted that the experiment on grape plantations was carried out in two versions: furrowing and fertirrigation technology, where the irrigated area was 190 m<sup>2</sup>, the number of grapevines was 42. During the research, 1442 m<sup>3</sup> of water was supplied per hectare when irrigated with injection fertirrigation technology, and 3810 m<sup>3</sup> when irrigated by furrows. It was found that, compared with the furrow irrigation method, when using injection-ferrigation technology, due to the saved amount of water, the area of vineyards can be increased by 2.4 times. For furrow irrigation, N<sub>60</sub><sup>1</sup> P<sub>180</sub><sup>1</sup> K<sub>60</sub><sup>1</sup> was applied, and for the injection method of fertirrigation, a dose of N<sub>24</sub><sup>1</sup> P<sub>70</sub><sup>1</sup> K<sub>24</sub><sup>1</sup> was used, and the fertilizer savings were 2.5 times. This means saving fertilizers and eliminating negative impacts on soil quality. It was shown that the yield with the injection method of fertirrigation is 70 c/ha higher than with furrow irrigation, and the amount of nitrate nitrogen in the quality indicators of the product is 46.5 mg/kg, i.e. less than 60 mg/kg (criteria).

**Key words:** fertirrigation, injection, fertilizer, productivity, agricultural technology.

**Citation.** Mirsalakhova L.M. Fertirrigation Technology on Vineyards with Economy of Water and Fertilizers for High-Quality Production of Grape. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 26-33. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.3>

УДК 631.587(075.3)

ББК 41.41

## ФЕРТИРРИГАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НА ВИНОГРАДНИКАХ С ЭКОНОМИЕЙ ВОДЫ И УДОБРЕНИЙ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ВИНОГРАДА

Ламия Мирнаиб кызы Мирсалахова

Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** В статье рассматривается термин «фертирригация» (его происхождение и сущность), приведены сведения о применении неорганических, твердых удобрений для получения высокого урожая от сельскохозяйственных растений, а также об использовании удобрений путем растворения их в воде. Теоретические сведения по фертирригации показали, что путем растворения удобрений в воде и внесения в почву через корни растений увеличивается не только продуктивность растения, но и почва обогащается питательными веществами на последующие годы. Отмечено, что опыт на виноградных плантациях проводился в двух вариантах: бороздованием и фертирригационной технологией орошения, где орошаемая площадь составила 190 м<sup>2</sup>, количество виноградной лозы – 42. В ходе исследований на один гектар при орошении инъекционно-фертирригационной технологией было подано 1442 м<sup>3</sup> воды, а при поливе по бороздам – 3810 м<sup>3</sup>. Было

выявлено, что по сравнению с методом полива по бороздам при применении инъекционно-ферригационной технологией за счет сэкономленного количества воды можно увеличить площадь виноградников в 2,4 раза. При бороздовом поливе было внесено  $N_{60}P_{180}K_{60}$ , а при инъекционном методе фертирригации была использована доза  $N_{24}P_{70}K_{24}$ , при этом экономия удобрений составила 2,5 раза. А это и экономия удобрений, и устранение негативных воздействий на качество почвы. Было показано, что урожайность при инъекционном способе фертирригации на 70 ц/га больше, чем при бороздовом поливе, а количество нитратного азота в качественных показателях продукта составляет 46,5 мг/кг, то есть менее 60 мг/кг (критерия).

**Ключевые слова:** фертирригация, инъекция, удобрение, урожайность, агротехнология.

**Цитирование.** Мирсалахова Л. М. Фертирригационная технология на виноградниках с экономией воды и удобрений для высококачественного производства винограда // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 26–33. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.3>

## Введение

«Фертирригация» (от англ. «to fertilize» – удобрение, «irrigation» – полив) – представляет собой внесение удобрений в корневую зону растений одновременно с поливной водой.

В большинстве литературы фертирригация используется как «фертигация». Эта технология была изобретена в 70-х гг. XX в., но ее применение и распространение связано с развитием капельного орошения. Удобрения, главным образом твердые минеральные удобрения, после растворения в воде смешиваются с поливной водой и подаются растениям через систему капельного орошения [1; 2].

Применение технологии фертирригации с другими системами орошения, особенно с инъекционной системой орошения, в основном не изучено.

К вопросу обеспечения удобрениями системы капельного орошения посвящен ряд научных статей, инструкций и методических рекомендаций. Технологию внесения удобрений растениям оросительной водой последовательно изучался Б. Бер-Йосефым [3; 4]. Тот факт, что фертирригация является современной агротехнологией, ее роль в повышении урожайности и защите от загрязнения окружающей среды исследовали Ч. Хагин, М. Снех и А. Ловенгарт-Айсисиеги [5]. Д.С. Эльфувинг [6] исследовал оборудование, необходимое для устранения засорения фильтров твердыми частицами при вытекании раствора удобрений из оросительной системы. М. Снехом [5] подготовлено руководство по определению доз удобрений, вносимых при микроорошении в засушливых и полусушливых регионах в зависимости от фенологических стадий развития растений.

В. Виксманн [6] подготовил обобщенное руководство по применению удобрений. В настоящем руководстве приведены оптимальные пределы их доз (норм), чтобы удобрения не нарушали баланс среды при применении фертирригации.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований по фертирригации показывает, что эффективность этой технологии изучена только при использовании системы капельного орошения.

## Объект и методы исследования

Опытный участок был выбран на территории Производственного объединения «Амин», действующего в Самухском районе, где выращиваются технические и столовые сорта винограда. Виноградная плантация построена на серо-коричневой (каштановой) почве, характерной для Гянджа-Газахского региона и обеспечена оросительной системой.

Для решения представленных вопросов использовалась апробированная методика согласно сути каждого вопроса. В целом был применен метод системного подхода. Изученные вопросы решались путем проведения лабораторных и полевых экспериментов. Полученные данные были подвергнуты научному анализу и сделаны соответствующие выводы.

Схема эксперимента была в двух вариантах:

1. Полив по бороздам.
2. Орошение инъекционно-фертирригационной системой.

В ходе полевых экспериментов были изучены следующие вопросы:

– фактический объем воды (количество), при орошении по вариантам, нормам и срокам

полива, фактический объем при подаче поливной воды, на один куст винограда, и срок продолжительности полива;

– нормы удобрений по вариантам и сроки подачи;

– влияние технологий инъекционного орошения и внесения удобрений на продуктивность винограда.

### Результаты и обсуждение

При обоих способах орошения экспериментальные площади составляли 190 м<sup>2</sup>, а количество лозы на каждой площади – 42. Эксперименты проводились в течение двух лет.

При инъекционном орошении (в опытном варианте) в первый год опыта орошения проводились 4 раза, объем подачи воды за один период орошения (площадь 190 м<sup>2</sup>) составил 7,6–7,8 м<sup>3</sup>, объем подачи воды на один виноградный куст составлял 184–186 л, а продолжительность непрерывного орошения – 92–93 часа. Периодические нормы орошения варьировали в пределах 402–410 м<sup>3</sup>/га (табл. 1). Фактические и расчетные оросительные нормы были практически равны друг другу. Однако за вегетацию расчетная общая оросительная норма превышала оросительную норму на 224 м<sup>3</sup>/га. Незначительное увеличение фактической нормы орошения было связано с теплой погодой и изменением, то есть уменьшением, влажности почвы. С другой стороны, расчетная цена поливной нормы рассчитывается не на 4 полива, а на 3, 4 полива.

На второй год опыта орошение проводили 4 раза. На одну лозу подача воды составил 162–167 литра. Стоимость периодической нормы орошения колебалась в пределах 355–370 м<sup>3</sup>/га. В это время продолжительность одного орошения колебалась в пределах 80–84 часов. Величина общей оросительной нормы составила 1442 м<sup>3</sup>/га и расчет была равна оросительной норме (1400 м<sup>3</sup>/га) (табл. 1).

На второй год опытов частичное снижение фактической цикловой поливной нормы – около 40 м<sup>3</sup>/га – было обусловлено климатическими факторами. В это время изучались два вопроса. Первый вопрос заключался в уточнении режима орошения для региона, второй – в определении оптимального уровня влажности почвы. Дело в том, что, как показывает опыт орошаемого земледелия, поддержание запасов воды в почве на оптимальном уровне позволяет добиться высокой продуктивности при обеспечении нормального развития всех сельскохозяйственных растений.

Снижение влажности почвы до предела увядания замедляет развитие растений и вызывает резкое снижение урожайности. С учетом вышеизложенного нижний предел влажности почвы во второй год опытов был увеличен на 1–2 % и установлена норма полива. Такой подход позволяет не только экономить воду, но и поддерживать оптимальные запасы воды в почве в течение вегетационного периода. При этом установлено, что незначительное повышение нижнего предела влажности почвы приводит к уменьшению продолжительности

Таблица 1

### Основные показатели при орошении инъекционным методом (опытный вариант, площадь $\omega = 190 \text{ м}^2$ )

№ орошения	Дата проведения орошения, день, месяц	Объем подачи воды за один цикл орошения $V, \text{ м}^3$	Объем подачи воды на один виноградный куст, л	Время продолжения орошения $t, \text{ ч}$	Периодическая норма орошения $m, \text{ м}^3/\text{га}$	Примечание
2018 г.						
1	30.05	7,64	184	92	402	Потребление инектора $q_i = 2 \text{ л/ч}$ . Глубина увлажнения $i$ (толщина активного слоя почвы) $h = 1 \text{ м}$
2	18.06	7,75	185	93	408	
3	16.07	7,80	186	93	410	
4	10.08	7,70	185	93	404	
<b>Всего</b>	–	<b>30,89</b>	<b>740</b>	<b>371</b>	<b>1624</b>	
2019 г.						
1	29.05	6,84	162	81	360	
2	24.06	6,75	161	80	355	
3	21.07	6,80	162	81	357	
4	15.08	7,03	167	84	370	
<b>Всего</b>	–	<b>27,42</b>	<b>672</b>	<b>326</b>	<b>1442</b>	

полива. Так, если в первый год опыта продолжительность полива составляла 92–93 ч, то во второй год опыта этот период составлял 80–84 ч, то есть продолжительность полива уменьшилась на 10 часов.

При поливе по бороздам (контрольный вариант) в первый год опытов полив проводили 4 раза, за один период полива (площадь 190 м<sup>2</sup>) давали 15,2–20,0 м<sup>3</sup>, на один виноградный куст давали 476 л воды. Продолжительность орошения составляла 6–11 часов. Периодические нормы орошения варьировали в пределах 800–1050 м<sup>3</sup>/га (табл. 2).

Общая норма орошения составила 3890 м<sup>3</sup>/га. Фактический расчет оросительной нормы оказался на 290 м<sup>3</sup>/га больше оросительной нормы. Это объясняется уменьшением влаги в почве и увеличением испарения.

На второй год опыта количество поливов составило 4. Норма орошения за один цикл варьировалась в пределах 790–1050 м<sup>3</sup>/га. Продолжительность орошения составила 4,2–8,6 часа. Значение общей оросительной нормы оказалось на 210 м<sup>3</sup>/га больше расчетной нормы 3810 м<sup>3</sup>/га. Увеличение не превысило допустимый предел, и данное увеличение было обусловлено условиями производства.

При бороздовом поливе (контроль) количество воды, подаваемой на орошение, в первый год опыта было в 2,4 раза больше, а во второй год опыта – в 2,64 раза больше, чем при инъекционном способе орошения. В это время по сравнению с методом инъекционного орошения объем потерь воды составил в среднем 2300 м<sup>3</sup> на гектар.

Анализ результатов опытного и контрольного вариантов показывает, что предотвратить потери воды можно, применяя прогрессивный метод орошения, особенно инъекционный метод орошения. За счет экономии поливной воды можно увеличить площадь виноградников или фруктовых садов примерно в 2 раза.

### Нормы удобрений по вариантам и время их внесения в почву

По принятым правилам около двух третей органических и минеральных удобрений вносят перед посевом (вспашкой) под зерновые и технические культуры, а ранней весной под виноградники и плодовые деревья. Остаточная часть удобрений подается зерновым и техническим растениям в виде подкормки во время посева (вспашки) и после посева. Виноградники и фруктовые деревья обычно снабжают удобрениями в течение всего вегетационного периода. Конкретных и строгих указаний о том, какие нормы и сроки (время) вносить удобрения в период вегетации нет. Анализируя фазы развития растения винограда и технологии внесения удобрений в почву, было решено, что при инъекционном способе орошения (опытный вариант) учитывая факт подачи удобрения в жидком виде, их следует вносить растению в период фазы бутонобразования, цветения и созревания гроздей неспелого винограда.

При способе полива по бороздам (контрольный вариант) удобрения вносились в почву в фазе бутонобразования и цветения. При

Таблица 2

#### Основные показатели при орошении бороздами (контрольный вариант, площадь $\omega = 190 \text{ м}^2$ )

№ орошения	Дата проведения орошения, день, месяц	Объем подачи воды за один цикл орошения $V, \text{ м}^3$	Расход борозды $q_b, \text{ л/с}$	Время продолжения орошения $t = V/3,6 q_b, \text{ ч}$	Цикл нормы орошения $m_v = V/\omega, \text{ м}^3/\text{га}$
2018 г.					
1	30.05	19,0	0,8	6,6	1000
2	18.06	19,8	0,5	11,0	1040
3	15.07	20,0	1,0	5,6	1050
4	10.08	15,2	0,5	8,4	800
<b>Всего</b>	–	<b>74,0</b>	–	<b>31,6</b>	<b>3890</b>
2019 г.					
1	29.05	18,5	0,6	8,6	970
2	24.06	19,0	0,8	6,6	1000
3	21.07	20,0	0,5	11,1	1050
4	15.08	15,0	0,5	4,2	790
<b>Всего</b>	–	<b>72,5</b>	–	<b>30,5</b>	<b>3810</b>

этом учитывался процесс позднего растворения зерен минеральных удобрений, позднее их усвоение растением и отсутствие вреда для качества урожая винограда.

Дозы удобрений постепенно снижали в обоих вариантах. На этот раз главной целью было предотвратить накопление химикатов в гроздьях винограда.

Таким образом, при инъекционном способе орошения (опытный вариант) в первый и второй годы опыта во время формирования бутонов в корневую систему виноградных кустов вместе с оросительной водой вносится удобрение азота из расчета 10 кг/га, фосфора 30 кг/га, калий 10 кг/га, в период фазы цветения 8 кг/га азота, 20 кг/га фосфора и 8 кг/га калия, а в период созревания неспелого винограда соответственно 6, 20 и 6 кг/га (табл. 3).

При поливе по бороздам (контрольный вариант) как в первый, так и во второй годы опыта в почву вносили азот из расчета 40 кг/га, фосфор в дозе 100 кг/га, калий в дозе 40 кг/га, а в фазу цветения – 20 кг/га азотные, фосфорные – 80 кг/га и калийные – 20 кг/га удобрения (табл. 3). Зернистые твердые удобрения распределяются между рядами с помощью сеялки.

**Влияние технологий инъекционного орошения и внесения удобрений (фертирригация) на урожайность винограда**

С целью изучения влияния инъекционного орошения и внесения удобрений на продуктивность сорта винограда «Тебриз» спелый

урожай собирали как с опытных, так и с контрольных участков и взвешивали на электронных весах. То есть процесс сбора и взвешивания использовался от начала до конца. Для определения урожайности собранную продукцию с каждого ряда отдельно (в 3-х повторностях) в опытном и контрольном вариантах взвешивали, суммировали и определяли урожайность по следующему выражению:

$$M = \frac{m}{100\omega}$$

где  $M$  – урожайность, ц/га;  $m$  – масса убранной продукции с поля в опытном или контрольном вариантах, кг;  $\omega$  – площадь, занимаемая опытным или контрольным вариантом, м<sup>2</sup>; 100 – коэффициент перевода кг в ц.

Данные о сборе и фактической урожайности винограда представлены в таблице 4. Анализ результатов экспериментов, проведенных в производственных условиях, показывает, что технологии инъекционного орошения и внесения удобрений позволяют экономить воду и удобрения, а также получать достаточно высокий урожай с винограда. Урожайность винограда при инъекционном поливе и внесении удобрений была на 21–28 ц/га выше, чем при бороздовом поливе и зернистой (твердой) форме внесении удобрений в почву.

Следует отметить, что нормы полива и внесения удобрений соблюдались в полной мере при инъекционном методе орошения, а также при поливе по бороздам. Поэтому продуктивность была высокой в обоих вариантах. Достигнутая производительность почти в два раза превышала производительность, достигнутой фермерским хозяйством. Таким образом,

Таблица 3

**Время подачи удобрений и нормы, кг/га**

Время подачи удобрений почве (виноград)	Метод инъекционного орошения (опытный вариант)			Метод орошения бороздами (контрольный вариант)		
	N	P	K	N	P	K
2018 г.						
Фаза формирования бутона	10	30	10	40	100	40
Фаза цветения	8	20	8	20	80	20
Фаза созревания неспелого винограда	6	20	6	–	–	–
<b>Всего</b>	<b>24</b>	<b>70</b>	<b>24</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>60</b>
2019 г.						
Фаза формирования бутона	10	30	10	40	100	40
Фаза цветения	8	20	8	20	80	20
Фаза созревания неспелого винограда	6	20	6	–	–	–
<b>Всего</b>	<b>24</b>	<b>70</b>	<b>24</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>60</b>

если средняя урожайность в виноградарском хозяйстве составляет 110–115 ц/га, то на опытном участке получена 183–195 ц/га.

Повышение продуктивности почвы, в которых применяются технологии инъекционного орошения и внесения удобрений, связано с подачей поливной воды и жидких удобрений непосредственно к корневой системе растения. Вторая причина в том, что полив и внесение удобрения проводятся в самые оптимальные сроки. Как уже говорилось, при определении нормы орошения нижний и верхний пределы влажности почвы следует выбирать таким образом, чтобы интервал увлажнения обеспечивал нормальное развитие всех сельскохозяйственных растений, и способствовало получению высокого урожая. С другой стороны, наиболее удобный способ увеличить норму использования удобрений и обеспечить их легкое усвоение растениями – растворить удобрения и внести их непосредственно в корневую систему растений. Оба упомянутых эффекта достигаются при применении технологий инъекционного орошения и внесения удобрений (фертирригация).

### Влияние технологии инъекционного орошения и внесения удобрений на качественные показатели урожая винограда

Наши исследования показывают, что по сравнению с хозяйственным вариантом применяемая нами технология инъекционного орошения и внесения удобрений наряду с продуктивностью винограда улучшила его биохимические качественные показатели в положительную сторону. Биохимические показатели винограда изучались в 2018, 2019 и 2020 годах. Как видно из таблицы (табл. 5), количество плотного остатка в фермерском варианте плотный остаток менялся в пределах 24,3–25,0, сахаристость – 17,1–16,8 г/100 см<sup>3</sup>, кислотность в титрах – 5,7–5,5 г/дм<sup>3</sup>, а нитратный азот – 38,5–33,2 мг/кг.

В варианте применения технологии инъекционной фертирригации плотный остаток составил 26,7–27,5%, сахаристость – 17,8–17,4 г/100 см<sup>3</sup>, кислотность в титрах снизилась до 5,2–5,1 г/дм<sup>3</sup>, нитратный азот составил – 50,2–46,5 мг/кг.

Таблица 4

#### Сбор урожая и урожайность винограда

Метод орошения (опытные варианты)	Урожай, собранный с опытного и контрольного участка площадью 0,019 га (м, кг)				Урожайность (M = м/100ω), цен/га
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	Всего	
2018 г.					
Инъекционный метод орошения (опытный вариант)	116	114	118	348	183
Метод орошения бороздами (контрольный вариант)	105	103	101	309	162
2019 г.					
Инъекционный метод орошения (опытный вариант)	120	119	122	371	195
Метод орошения бороздами (контрольный вариант)	107	110	100	317	167

Таблица 5

#### Биохимические показатели винограда

№	Варианты опытов	2018 г.				2019 г.				2020 г.			
		Сухое вещество, %	Сахаристость, г/100 см <sup>3</sup>	Кислотность в титрах, г/дм	Нитратный азот, мг/кг	Сухое вещество, %	Сахаристость, г/100 см <sup>3</sup>	Кислотность в титрах, г/дм	Нитратный азот, мг/кг	Сухое вещество, %	Сахаристость, г/100 см <sup>3</sup>	Кислотность в титрах, г/дм	Нитратный азот, мг/кг
1	Орошение бороздами	24,3	17,1	5,7	38,5	24,5	17,2	5,6	35,6	25,0	16,8	5,5	33,2
2	Инъекционный метод орошения (опытный вариант)	26,7	17,8	5,2	50,2	26,8	17,6	5,1	48,2	27,5	17,4	5,1	46,5

Таким образом, при технологии инъекционного орошения и внесения удобрений в винограде увеличилось количество сахара, а кислотность снизилась. Так, по сравнению с контролем, в варианте инъекционной фертиригации сухое вещество увеличилось на 2,2–2,5 %, сахаристость – на 0,6–0,7 г/100 см<sup>3</sup>, нитратный азот – на 11,7–13,3 мг/кг. Однако такое увеличение азота находится в пределах допустимой нормы (< 60 мг/кг).

Надо отметить, что при методе фертиригации дозы удобрений вносятся непосредственно растению по мере необходимости, поэтому в урожае винограда оно не может накопиться больше ожидаемого.

### Заключение

1. Установлено, что допускаются потери воды за счет испарения с поверхности почвы при капельном орошении, которые считаются наиболее совершенными способами и приемами орошения. В целях предотвращения потери воды, экономии оросительной воды и эффективного ее использования, была усовершенствована система инъекционного орошения и разработана новая конструкция ее элементов.

2. При применении системы инъекционного орошения получается экономия оросительной воды в 1,3 раза по сравнению с капельным орошением, то есть более чем 2–3 раза по сравнению с другими способами орошения.

3. Определено, что при применении технологий инъекционного орошения и внесения удобрений (фертиригации) ускоряется развитие винограда и значительно увеличивается его продуктивность. В одинаковом агротехническом фоне урожайность винограда сорта Тебриз составила 163 ц/га при поливе по бороздам и 195 ц/га при инъекционном поливе.

4. При инъекционном методе фертиригации урожайность составила на 70 ц/га больше, чем при бороздовом поливе, а по качественным показателям продукции нитратного

азота составил 46,5 мг/кг, то есть меньше 60 мг/кг (критерия).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, В. Ю. Применение фертигации для эффективного использования удобрений (опыт Израиля) / В. Ю. Кириллов, Н. Б. Казангапов // Вестник КазНУ. Серия Экологическая. – 2012. – Т. 1. – С. 1–6.
2. Мирсалахова, Л. М. Применение нового метода инъекционно-фертигационного орошения при выращивании виноградных плантаций / Л. М. Мирсалахова. – Гянджа : Рекомендация, 2023. – 36 с.
3. Bar-Yosef, B. Advances in Fertigation / B. Bar-Yosef // Advances in Agronomy. – 1999. – Vol. 65. – P. 1–77.
4. Bar-Yosef, B. Fertilization Under Drip Irrigation / B. Bar-Yosef. – N. Y. : CRC Press, 1992. – 45 p.
5. Hagin, P. J. Fertigation – Fertilization Through Irrigation / P. J. Hagin. – Switzerland : Basel, 2002. – 310 p.
6. Wichmann, W. World Fertilizer Use Manual / W. Wichmann. – Germany : BASF AG, 1992. – 600 p.

### REFERENCES

1. Kirillov V.Yu., Kazangapov N.B. Primeneniye fertigatsii dlya effektivnogo ispolzovaniya udobreniy (opyt Izrailiya) [Application of Fertigation for Efficient Use of Fertilizers (Israeli Experience)]. *Vestnik KazNU. Seriya Ekologicheskaja* [Eurasian Journal of Ecology], 2012, vol. 1, pp. 1–6.
2. Mirsalakhova L.M. *Primeneniye novogo metoda inyeksionno-fertigatsionnogo orosheniya pri vyrashchivanii vinogradnykh plantatsiy* [Application of a New Method of Injection-Fertigation Irrigation When Growing Grape Plantations]. Ganja, Rekomdatiya Publ., 2023. 36 p.
3. Bar-Yosef B. Advances in Fertigation. *Advances in Agronomy*, 1999, vol. 65, pp. 1–77.
4. Bar-Yosef B. *Fertilization Under Drip Irrigation*. New York, CRC Press, 1992. 45 p.
5. Hagin P.J. *Fertigation – Fertilization Through Irrigation*. Switzerland, Basel, 2002. 310 p.
6. Wichmann W. *World Fertilizer Use Manual*. Germany, BASF AG, 1992. 600 p.

### **Information About the Author**

**Lamia M. Mirsalakhova**, Senior Lecturer, Doctoral Student, Department of Land Reclamation and Hydraulic Engineering, Azerbaijan State Agrarian University, Prosp. Ataturka, 450, AZ2000 Ganja, Azerbaijan Republic, [lamiyamirsalahova@gmail.com](mailto:lamiyamirsalahova@gmail.com)

### **Информация об авторе**

**Ламия Мирнаиб кызы Мирсалахова**, старший преподаватель, докторант кафедры Мелиорация и гидротехнические сооружения, Азербайджанский государственный аграрный университет, просп. Ататюрка, 450, AZ2000 г. Гянджа, Азербайджанская Республика, [lamiyamirsalahova@gmail.com](mailto:lamiyamirsalahova@gmail.com)



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.4>

UDC 574.576

LBC 39.636

## ISSUES OF USING UAVS TO MONITOR THE QUALITY OF COASTAL WATERS

**Dylan A. oglu Humbatov**

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

**Humar S. gizi Aliyeva**

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

**Abstract.** Coastal water quality studies are carried out using both marine measuring stations and UAVs equipped with multispectral and hyperspectral equipment. The results of the conducted research have shown that the quality of coastal zones is determined mainly by the amount of algae and, in particular, seaweed, the bulk of which is under water. The surface part is usually estimated using a UAV equipped with spectral measuring equipment with a large error, since it is necessary to take into account the effects of gloss and turbidity of the sea surface. At the same time, accounting for the underwater part of this vegetation can be carried out without the influence of reflected radiation of the surface part. For this purpose, the well-known regression dependence of the reflected signal of the surface part on the ratio of the reflected signal of the blue part of the spectrum to the reflected signal at the transition site at the edge of the red zone is used. The task of searching for such a type of function of dependence of radiation from the edge of the red zone on reflection from the near infrared zone is formed, in which the target functional formed on the basis of the specified regression dependence and some restrictive condition imposed on the desired function would reach a minimum. A transcendental equation has been obtained, the solution of which allows us to determine the nature of the desired dependence, in which the influence of radiation from the surface part of the vegetation under study minimally affects the result of evaluating the underwater part of the plant.

**Key words:** UAVs, algae, reflected radiation, water quality, optimization.

**Citation.** Humbatov D.A. oglu, Aliyeva H.S. gizi. Issues of Using UAVs to Monitor the Quality of Coastal Waters. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 34-38. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.4>

УДК 574.576

ББК 39.636

## ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА БЕРЕГОВЫХ ВОД

**Дилан Азиз оглы Гумбатов**

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Хумар Сабир гызы Алиева**

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** Исследования качества береговых вод проводятся с помощью как морских измерительных станций, так и БПЛА, оснащенных мультиспектральной и гиперспектральной аппаратурой. Результаты проведенных исследований показали, что качество береговых зон определяется в основном количеством водорослей и в частности морской капусты, основная масса которой оказывается под водой. Надводная часть обычно оценивается с помощью БПЛА оснащенной спектральной измерительной аппаратурой с большой погрешностью, так как требуется учесть влияние блеска и мутности морской поверхности. При этом учет

подводной части этой растительности может быть осуществлен без влияния отраженной радиации надводной части. Для этой цели использована известная регрессионная зависимость отраженного сигнала надводной части от отношения отраженного сигнала синей части спектра к отраженному сигналу на участке перехода в краю красной зоны. Сформирована задача поиска такого вида функции зависимости радиации с края красной зоны от отражения с близкой инфракрасной зоны, при которой целевой функционал, сформированный на базе указанной регрессионной зависимости и некоторого ограничительного условия, наложенного на искомую функцию, достиг бы минимума. Получено трансцендентное уравнение, решение которого позволяет определить характер искомой зависимости, при которой влияние радиации с надводной части исследуемой растительности минимально влияет на результат оценки подводной части растения.

**Ключевые слова:** БПЛА, водоросли, отраженная радиация, качество воды, оптимизация.

**Цитирование.** Гумбатов Д. А. оглы, Алиева Х. С. гызы. Вопросы использования БПЛА для проведения мониторинга качества береговых вод // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 34–38. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.4>

## Введение

Хорошо известно, что беспилотные летательные аппараты (БПЛА) обладают высоким пространственным разрешением и не имеют такие проблемы, свойственные спутниковому дистанционному зондированию как влияние атмосферы, облаков [2]. БПЛА широко используются для определения качества береговых вод [3; 4; 7; 10].

Исследования качества береговых вод проводятся путем проведения с помощью как морских измерительных станций, так и БПЛА, оснащенных мультиспектральной и гиперспектральной аппаратурой. Например, как указывается в работе [11], с этой целью были использованы восемь станций, установленные в заливе Chesapeake (США). Станции были оснащены гиперспектральными измерителями, работающими в спектральном диапазоне 320–950 нм с интервалом 3,3 нм. Полученные результаты сопоставлялись с результатами измерений с применением БПЛА, оснащенными пятиканальными измерителями Mica Sense. Это устройство имеет следующие измерительные каналы: синий канал (475 нм, ширина полосы 32 нм); зеленой канал (560 нм, ширина полосы 27 нм); красный канал (668 нм, полоса пропускания 14 нм); канал края красной зоны (717 нм, полоса пропускания 12 нм); канал NIR (842 нм, с полосой 57 нм).

В указанных морских станциях проводятся контактные измерения хлорофилла и общего количества взвешенных частиц (TSS).

Вместе с тем, применительно к береговым зонам элементами загрязнения морских вод считаются водоросли, или морская капуста (kelp), которая является трехморным высокопродуктивным морским растением, представляющим экономическую ценность для населения прибрежной зоны [6; 8]. Указанный фактор актуализирует исследование к оценки потенциала этого растения как его надводной, так и подводной компоненты. Учет объема надводной части с использованием ее излучения в NIR области затрудняется наличием морским блеском в поверхности воды, мутностью воды [1; 9].

Традиционным образом, учет и исследование состояния растений осуществляется применением сигналов спектральной зоны «край красной зоны» (670–750 нм).

В общем случае, суммарный сигнал NIR диапазона, регистрируемый спектрометрами БПЛА определяется как

$$R_{UAS}(NIR) = R_{rs}(NIR) + \rho(NIR) + \frac{L_{sky}}{E_d}, \quad (1)$$

где  $R_{RS}(NIR)$  – сигнал NIR диапазона, извлекаемая с поверхностной части растительности;  $\rho(NIR)$  – компонента NIR диапазона из-за блеска поверхности воды;  $L_{sky}$  – небесное излучение;  $E_d$  – пере излучения из глубин воды.

Маскирование  $\rho(NIR)$  согласно [11] может быть осуществлено методом «темного» пикселя, а компонента  $\frac{L_{sky}}{E_d}$  определяется с использованием модели радиационного переноса [6]. Компоненты  $R_{rs}(NIR)$ , может быть оп-

ределена с помощью нелинейного регрессионного уравнения [5].

$$R_{rs}(NIR) = 0,025 \exp \left[ \frac{-3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)} \right] + 0,00013. \quad (2)$$

Регрессионная функция (2) графически изображена на рисунке. Таким образом, задача обеспечения уменьшения доли сигнала  $R_{UAS}(NIR)$  в сигнале  $R_{UAS}(red\ edge)$  сводится к уменьшению влияния  $R_{rs}(NIR)$ . При этом следует определить такую взаимосвязь между и при которой такое влияние могло бы быть приведено к минимуму.

### Материалы и методы

Для решения указанной задачи можно ввести на рассмотрение функциональную зависимость

$$R_{UAS}(red\ edge) = R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR)). \quad (3)$$

И далее вычислить такой вид функции (3), при которой некоторый функционал, характеризующий мощность сигнала  $R_{rs}(NIR)$  достиг бы минимума.

Рассмотрим возможность формирования функционала, характеризующего мощностные характеристики  $R_{rs}(NIR)$  по множеству исследуемых береговых зон, загрязненных водорослью типа «морская капуста». Умножим каждую из сторон выражения (2) на  $R_{rs}(NIR)$ . Получим

$$R_{rs}^2(NIR) = 0,025 R_{rs}(NIR) \exp \left[ \frac{-3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)} \right] + 0,00013 R_{rs}(NIR). \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) напишем

$$R_{rs}^2(NIR) = 0,025 U_{rs}(NIR) \exp \left[ \frac{-3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))} \right] + 0,00013 R_{rs}(NIR). \quad (5)$$

Рассмотрим сценарий, когда БПЛА исследует множество точек в зоне береговых вод в количестве  $n$ . Из полученных результатов измерений можно сформировать два множества:

$$R_{rs}(NIR) = \{R_{rs}(NIR)_i\}; i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$R_{UAS}(red\ edge) = \{R_{UAS}(red\ edge)_j\}; j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Будем считать, что множество  $R_{rs}(NIR)$  является упорядоченным, то есть элементы удовлетворяют условию

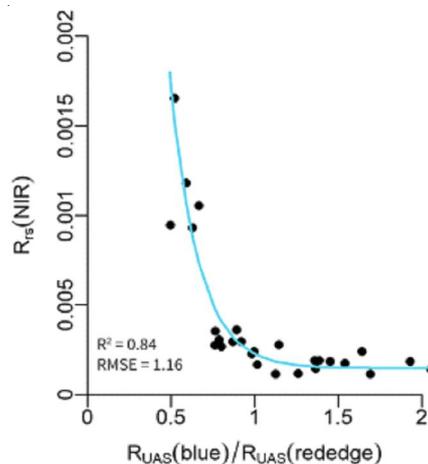
$$R_{rs}(NIR)_i = R_{rs}(NIR)_{i-1} + \Delta R_{rs}(NIR), \quad (8)$$

где  $\Delta R_{rs}(NIR) = const; R_{rs}(NIR)_0 = 0$ .

С учетом (5) и (8) составим дискретную сумму  $F_g$ , где

$$F_g = \sum_{i=1}^n 0,025 U_{rs}(NIR)_i \exp \left[ \frac{-3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))} \right]. \quad (9)$$

Рассмотрим задачу выбора такого вида функции  $R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))$ , при которой  $F_g$  достигает минимума, то есть суммарный вклад отраженной ближне-инфракрасной радиации от надводной части морского растения достигает минимума и в основном извлекается  $R_{UAS}(red\ edge)$ , то есть извлекается информация о подводных частях этого растения.



Кривая нелинейной регрессионной функции взаимосвязи между отношением  $\frac{R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)}$  и  $R_{rs}(NIR)$

Для решения указанной задачи в первом приближении осуществим переход от дискретной модели (9) на непрерывную модель в виде непрерывного функционала  $F_H$ , где

$$F_H = \int_0^{U_{rs}(NIR)_{max}} 0,025U_{rs}(NIR) \exp\left[-\frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))}\right] \times d(U_{rs}(NIR)). \quad (10)$$

Решение непрерывной оптимизационной задачи (10) может быть осуществлено по методу вариационного анализа при выполнении одного условия, суть которого заключается в наложении к искомой функции определенного ограничительного условия. Рассмотрим случай, когда указанное ограничительное условие  $F_{орп}$  имеет вид

$$F_{орп} = \int_0^{U_{rs}(NIR)_{max}} R_{UAS}(red\ edge) \times (R_{rs}(NIR)) d(R_{rs}(NIR)) = C, \quad (11)$$

где  $C = const$ .

Отметим, что смысл ограничения (11) заключается в сужении пространства непрерывных и дважды дифференцируемых функций до некоторого подпространства, элементы которого удовлетворяют условию (11). С учетом (10) и (11) составим целевой функционал  $F_0$  безусловной вариационной оптимизации по следующей схеме:

$$F_0 = F_H + \lambda[F_{орп} - C]. \quad (12)$$

С учетом (10), (11), (12) получим

$$F_0 = \int_0^{U_{rs}(NIR)_{max}} 0,025U_{rs}(NIR) \exp\left[-\frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))}\right] \times d(U_{rs}(NIR)) + \lambda \left[ \int_0^{U_{rs}(NIR)_{max}} R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR)) d(R_{rs}(NIR)) - C \right]. \quad (13)$$

Решение оптимизационной задачи (13) должно удовлетворить условию:

$$\frac{d \left\{ 0,025U_{rs}(NIR) \exp\left[-\frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))}\right] - \lambda R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR)) \right\}}{dR_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))} = 0. \quad (14)$$

С учетом (14) получим

$$0,025U_{rs}(NIR) \exp\left[-\frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))}\right] \times \frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))^2} - \lambda = 0. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$\exp\left[-\frac{3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}{R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))}\right] = \frac{\lambda R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))^2}{0,025U_{rs}(NIR) \cdot 3,469 \cdot R_{UAS}(blue)}. \quad (16)$$

Таким образом, полученное выражение (16) является трансцендентным уравнением относительно искомой функции  $R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))$ . Задача нахождения оптимального вида этой функции не имеет аналитического решения и может быть решена вычислительным путем при заданных значениях  $R_{rs}(NIR)$  и  $R_{UAS}(blue)$ .

Решение задачи удовлетворит условие достижения минимума функционала (10), так как вторая производная интегранта в функционале (14) по искомой функции оказывается положительной величиной.

### Заключение

Сформулирована и решена задача оптимального использования БПЛА для мониторинга качества береговых вод. Отмечена, что качество береговых зон определяется в основном количеством водорослей и в частности морской капусты в береговых водах. При этом основная масса этой растительности оказывается под водой. Надводная часть обычно оценивается с большой погрешностью методами дистанционного зондирования так как требуется учесть влияния блеска и мутности морской поверхности. Таким образом, учет подводной части водорослей должен быть осуществлен путем такой оценки  $R_{UAS}(red\ edge)$ , которая в минимальной степени подвержена влиянию  $R_{rs}(NIR)$ . Для этой цели использована известная регрессионная зависимость  $R_{rs}(NIR)$  от отношения  $R_{UAS}(blue)/R_{UAS}(red\ edge)$ . Введена на рассмотрение функция  $R_{UAS}(red\ edge)(R_{rs}(NIR))$  и сформулирована задача поиска такого вида этой функции, при которой целевой функционал, сформированный на базе указанной регрессионной зависимости и некоторого ограничительного условия наложенного на искомую функцию, достиг бы минимума. Получено трансцендентное уравнение, решение которого позволяет определить характер искомой зависимости.

## REFERENCES

1. Cavanaugh K.C., Bell T., Costa M., et al. A Review of the Opportunities and Challenges for Using Remote Sensing for Management of Surface-Canopy Forming Kelps. *Front. Mar. Sci.*, 2021, vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.753531>
2. Anderson K., Gaston K.J. Lightweight Unmanned Aerial Vehicles Will Revolutionize Spatial Ecology. *Front. Ecol. Environ.*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 138-146. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/23470549>
3. Arango J.G., Nairn R.W. Prediction of Optical and Non-Optical Water Quality Parameters in Oligotrophic and Eutrophic Aquatic Systems Using a Small Unmanned Aerial System. *Drones*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/drones4010001>
4. Dugdale S.J., Kelleher C.A., Malcolm I.A., et al. Assessing the Potential of Drone-Based Thermal Infrared Imagery for Quantifying River Temperature Heterogeneity. *Hydrol. Process.*, 2019, vol. 33, no. 7, pp. 1152-1163. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.13395>
5. Siegel D.A., Wang M., Torena M.S., Robinson W. Atmospheric Correction of Satellite Ocean Color Imagery: The Black Pixel Assumption. *Appl. Opt.*, 2000, vol. 39, no. 21, pp. 3582-3591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.39>
6. Druehl L.D., Wheeler W.N. Population Biology of *Macrocystis Integrifolia* from British Columbia, Canada. *Mar. Biol.*, 1986, pp. 173-179. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00569124e00683>
7. Johnston D.W. Unoccupied Aircraft Systems in Marine Science and Conservation. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 2019, vol. 11, pp. 439-463. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010318-095323>
8. Kain M.J. Patterns of Relative Growth in Neurocytes *Luetkeana* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, 1987, pp. 181-187. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.00223646.1987.00181.x>
9. Schroeder S.B., Dupont C., Boyer L., et al. Passive Remote Sensing Technology for Mapping Bull Kelp: A Review of Techniques and Regional Case Study. *Glob. Ecol. Conserv.*, 2019, no. 19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019>
10. Lee E., Yoon H., Hyun S.P., et al. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)-Based Thermal Infrared (TIR) Mapping a Novel Approach to Assess Groundwater Discharge into the Coastal Zone. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 2016, vol. 14, no. 11, pp. 725-735. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/lom3.10132>
11. Windle A.E., Silsbe G.M. Evaluation of Unoccupied Aircraft System (UAS) Remote Sensing Reflectance Retrievals for Water Quality Monitoring in Coastal Waters. *Front. Environ. Sci.*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.674247>

## Information About the Authors

**Dylan A. oglu Humbatov**, Postgraduate Student, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, [h.dilan@mail.ru](mailto:h.dilan@mail.ru)

**Humar S. gizi Aliyeva**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Scientific-Research Institute of Aerospace Information, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, [a.khumar.1962@gmail.com](mailto:a.khumar.1962@gmail.com)

## Информация об авторах

**Дилан Азиз оглы Гумбатов**, аспирант, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, [h.dilan@mail.ru](mailto:h.dilan@mail.ru)

**Хумар Сабир гызы Алиева**, кандидат технических наук, доцент, научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, [a.khumar.1962@gmail.com](mailto:a.khumar.1962@gmail.com)



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.5>

UDC 541.183.12+549.67+546.28

LBC 24стд1-4

## INFLUENCE OF SYNTHESIS CONDITIONS ON CHABAZITE ZEOLITE CRYSTALLIZATION IN LIOH SOLUTION

**Gunel A. Mamedova**

Institute of Natural Resources (Nakhchivan), National Academy of Sciences of Azerbaijan,  
Nakhchivan, Azerbaijan Republic

**Gunel F. Nasirli**

Institute of Natural Resources (Nakhchivan), National Academy of Sciences of Azerbaijan,  
Nakhchivan, Azerbaijan Republic

**Tofiq A. Aliyev**

Institute of Natural Resources (Nakhchivan), National Academy of Sciences of Azerbaijan,  
Nakhchivan, Azerbaijan Republic

**Abstract.** The chabazite zeolite of potential practical importance has been obtained based on the natural mineral of Nakhchivan Autonomous Republic. Chabazite has a wide range of application and therefore its optimal synthesis conditions have been determined. The chabazite zeolite of potential practical importance has been obtained based on the natural mineral of Nakhchivan. The hydrothermal synthesis has been carried out in Morey type autoclaves made up of 45MNFT stainless steel with a volume of 20 cm<sup>3</sup>, and with the filling coefficient of F = 0.8. The hydrothermal crystallization experiments have been carried out generating a temperature gradient  $\Delta T = 0$  and without stirring of the reaction mass. The optimal conditions established in this study for the synthesis of chabazite zeolite with a 100 % degree of crystallinity are as follows: temperature of 100°C, alkaline solution of 10-20% LiOH and processing time of 50 hours. It was shown that at temperature below 100°C mordenite+chabazite+quartz is present in the reaction products, and at temperature above 100°C, chabazite+clinoptilolite+albite, chabazite+clinoptilolite+crystalite, chabazite+clinoptilolite were obtained. At a concentration of LiOH below 10%, mordenite+quartz+chabazite are present in crystallization products, and at a concentration of LiOH above 20%, clinoptilolite+chabazite, hydrosodalite+albite+crystalite have been obtained. Moreover, when processing time is below 50 hours, mordenite+quartz+chabazite crystallizes, and when processing time is over 50 hours, we obtain clinoptilolite+chabazite+crystalite, hydrosodalite+albite was obtained. The initial sample and the product obtained were studied by X-ray diffraction (2D PHASER "Bruker" (CuK<sub>α</sub>, 2θ = 20–80°)), thermogravimetric (NETZSCH STA 449F3 STA449F3A-0757-M) and scanning electron microscopy (Hitachi TM-3000).

**Key words:** chabazite, crystallization temperature, zeolite, processing time, formation of zeolite.

**Citation.** Mamedova G.A., Nasirli G.F., Aliyev T.A. Influence of Synthesis Conditions on Chabazite Zeolite Crystallization in LiOH Solution. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 39-47. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.5>

УДК 541.183.12+549.67+546.28

ББК 24стд1-4

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЦЕОЛИТА ШАБАЗИТА В РАСТВОРЕ LIOH

**Гюнель А. кызы Мамедова**

Институт природных ресурсов (Нахчыван), Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,  
г. Нахчыван, Азербайджанская Республика

**Гюнель Ф. кызы Насирли**

Институт природных ресурсов (Нахчыван), Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,  
г. Нахчыван, Азербайджанская Республика

**Тофиг А. оглы Алиев**

Институт природных ресурсов (Нахчыван), Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики,  
г. Нахчыван, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** Цеолит шабазит, имеющий потенциальное практическое значение, был получен на основе природного минерала Нахчыванской Автономной Республики. Шабазит имеет широкий спектр применения, в связи с чем определены оптимальные условия его синтеза. Цеолит шабазит, имеющий потенциальное практическое значение, был получен на основе природного минерала Нахчывана. Гидротермальный синтез проводили в автоклавах типа Мори из нержавеющей стали 45МНФТ объемом 20 см<sup>3</sup> и коэффициентом заполнения  $F=0.8$ . Эксперименты по гидротермальной кристаллизации проводили при градиенте температуры  $\Delta T=0$  и без перемешивания реакционной массы. Установленные в данной работе оптимальные условия синтеза цеолита шабазита со 100 % степенью кристалличности следующие: температура 100 °С, щелочной раствор 10–20 % LiOH и время обработки 50 часов. Показано, что при температуре ниже 100 °С в продуктах реакции присутствует морденит+шабазит+кварц, а при температуре выше 100 °С образуются шабазит+клиноптилолит+альбит, шабазит+клиноптилолит+кristобалит, шабазит+клиноптилолит. При концентрации LiOH ниже 10 % в продуктах кристаллизации присутствуют морденит+кварц+шабазит, а при концентрации LiOH выше 20 % получены клиноптилолит+шабазит, гидросодалит+альбит+кristобалит. Более того, при времени обработки ниже 50 часов кристаллизуется морденит+кварц+шабазит, а при времени обработки выше 50 часов получаем клиноптилолит+шабазит+кristобалит, гидросодалит+альбит. Исходный образец и полученные продукты исследовали методами рентгенофазовой (2D PHASER «Bruker» ( $\text{CuK}_\alpha$ ,  $2\theta = 20\text{--}80^\circ$ )), термогравиметрической (NETZSCH STA 449F3 STA449F3A-0757-M) анализов и сканирующей электронной микроскопии (Hitachi TM-3000).

**Ключевые слова:** шабазит, температура кристаллизации, цеолит, время обработки, образование цеолита.

**Цитирование.** Мамедова Г. А., Насирли Г. Ф., Алиев Т. А. Влияние условий синтеза на кристаллизацию цеолита шабазита в растворе LiOH // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 39–47. – (На англ. яз.). – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.5>

**Introduction**

The most important representatives of microporous substances, zeolites, have remained one of the most intensively studied classes of chemical compounds for many years because of their great structural diversity and wide practical application as ion-exchange materials and molecular sieves. Zeolites are actively used in industry for the purification, drying, and separation of various components, as catalysts for the most important technological processes, for the extraction of radioactive isotopes from liquid wastes from the nuclear industry, for the removal of impurities that pollute the atmosphere, etc.

Clarification of the optimal conditions for the synthesis of one another zeolite, that is, temperature, alkaline of the medium, and processing time, creates a scientific basis for further research.

Chabazite zeolites are built from double 6-membered rings linked by tilted 4-membered rings

to give the overall structure [1]. This results in a tri-dimensional pore channel system.

For this purpose, we carried out a series of experiments on the effect of temperature, alkalinity of the medium, and treatment time on the crystallization process of the practically important zeolite chabazite. It should be noted that chabazite is one of the most practically important zeolites; namely, it is used as a catalyst for the conversion of oxygenates to olefins [2], the conversion of methanol to light olefins [3], the selective dehydrogenation of ethane [4], the catalytic reduction of  $\text{NO}_x$  [5], and as an adsorbent of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and radionuclides [6].

An analysis of the scientific literature showed that chabazite can be obtained from various structural types of the starting components in hydrothermal conditions. Previously, it has been reported that the synthesis of chabazite in hydroxide and fluoride media uses either N,N,N-trimethyl-1-adamantammonium

(TMAda), N,N,N-dimethylethylcyclohexyl ammonium (DMECHA) cations, or a mixture thereof [7]. Pure phase SSZ-13 Cha zeolite with wide range of Si/Al ratio has been synthesized in a fluoride-free media by dry gel conversion method where the conversion of SSZ-13 from aluminosilicates precursor gel occurs under water vapor [8], in the presence of a small amount of N,N,N-dimethylethylcyclohexylammonium bromide under solvent-free conditions [9], from USY zeolites and tetraethylammonium [10], using choline chloride, by the hydrothermal conversion of FAU zeolite in benzyltrimethylammonium hydroxide media, transformation using only Na-type FAU zeolite, from low-cost NaY and Al-rich beta precursors, by heating partial de-aluminate kaolin for 2 hours at 130 °C, the step heating procedure, in which the reaction composition is heated to 90 °C for 40 h, followed by a rapid heating to 103 °C, which is maintained for 2 hours, and then the completion of the synthesis at 90 °C for one more hour [11].

As you know, synthetic zeolites surpass their natural counterparts in their physicochemical properties. Since synthetic chabazite has better characteristics in comparison with natural ones and has a wide field of application, the aim of this paper is to synthesize and optimize the conditions for obtaining of potential practical importance chabazite zeolite with a 100% degree of crystallinity and phase purity of the natural mineral of Nakhchivan, and the effects of the alkaline solution concentration, crystallization temperature, and processing time on the formation of chabazite zeolite were studied in detail.

It should be noted that the hydrothermal synthesis of chabazite based on natural zeolite-containing tuff is being carried out for the first time. Synthesis on natural zeolite-containing tuff has a low cost and is environmentally friendly, for ease of handling and large-scale production.

**Experimental.** Lithium hydroxide (flake, 99% purity, Alfa Aesar GmbH & Co. KG, Germany) has been used without further purification. The natural samples have been obtained from the zeolite horizon in the north-west of the Kyukyuchai river, where zeolite content varies in the range of 75–80%. The samples have been thoroughly washed with distilled water and dried at a temperature of 100 °C for three days.

Hydrothermal synthesis of chabazite has been carried out in Morey autoclaves made of 45MNFT stainless steel with a volume of 18 cm<sup>3</sup> and a filling coefficient of  $F = 0.8$ . The hydrothermal crystallization experiments have been performed generating a temperature gradient  $\Delta T = 0$  and without stirring the reaction mass. The solid-liquid ratio was set to 1:10. After crystallization was completed, the final material was separated from the initial solution, washed with distilled water to remove excess alkali, and dried at 80 °C. For each experiment, 2 g of natural zeolite was used. The stage of preparation of the initial mixture consists of mixing a heat-treated sample of the Nakhchivan mineral in alkaline solutions at room temperature. After mixing the initial component and the alkaline solution, the initial mixture was transferred to the autoclave, and the crystallization process began at various temperatures. The crystalline structure of the original natural mineral was destroyed and recrystallized into a cubic chabazite structure (with a 100% degree of crystallinity that crystallizes within 50 hours).

In order to identify and optimize the process, the synthesis of chabazite has been carried out by varying the conditions: in the temperature range of 80 to 250 °C; in the alkaline solution of LiOH concentration range of 5 to 30%; and in the reaction time of 10–100 hours.

### Characterization techniques

The X-ray diffraction measurements were performed using the X-ray analyzer 2D PHASER “Bruker” (Cu  $K_{\alpha}$  radiation,  $2\theta = 5\text{--}50^{\circ}$ ), using NaCl, SiO<sub>2</sub> (quartz), and pure zeolites in internal and external standards, respectively. Samples have been placed on a front-mounted plastic sample holder. The measuring conditions have been as follows: step size of 0.15 s/step, nickel filter as incident beam, slit aperture of 0.3°, and scan range of  $2\theta = 0.5^{\circ}$  to  $10^{\circ}$ .

The thermogravimetric analysis of the samples has been carried out on a “Derivatograph-Q 1500-D” of the Hungarian company MOM in the dynamic mode in the temperature range of 20–1000 °C. Shooting mode: heating rate of 20°/min; paper speed of 2.5 mm/min; the sensitivity of differential thermal analysis (DTA), difference thermogravimetry (DTG), and thermogravimetry (TG) is 500 mv; ceramic crucibles; the standard is Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Elemental analysis of the starting material and the reaction conversion products has been carried out on a Launch of Triton XL dilution refrigerator “Oxford instrument” multichannel X-ray spectrometer. Measurement mode: Pd-anode, voltage of 25 kW, current strength of 70 MA, exposure time of 100 sec., sensitivity limit of  $10^{-2}$ . For analysis, the samples have been prepared as follows: the analyte was diluted with  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  flux (ratio 1:10) at a temperature of 1250 °C. The resulting glass has been crushed under a pressure of 20 t/cm<sup>2</sup> with a holding time of 1 min.

Scanning electron microscopy analysis (SEM) of the starting materials and reaction products was performed on a high-resolution microscope (an increase of 30000 times) at Hitachi 3000 TM. Low vacuum mode allowed exploring samples without pre-deposition. The sample was placed on a double-sided adhesive tape glued onto a metal disc and vacuumed to a pressure of  $10^{-4}$  Pa to obtain micrographs.

### Results and discussion

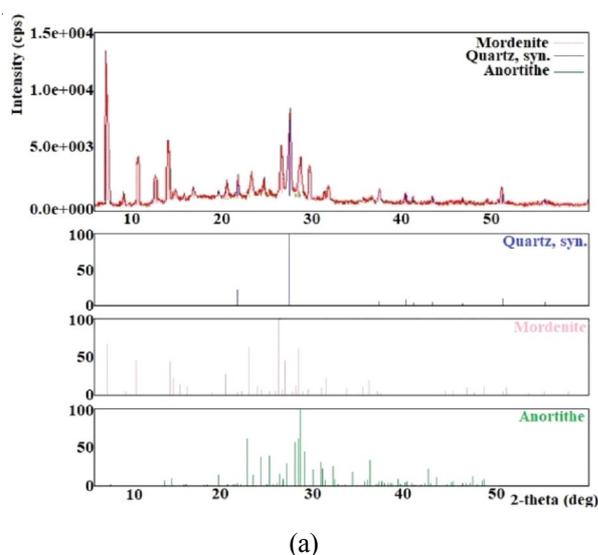
The zeolite tuff of the Nakhchivan deposit in Kyukyuchay was used as a starting material. According to X-ray diffraction and elemental analyses, it was found that 78.5% of the zeolite tuff consists of mordenite ( $\text{Ca}_2\text{Na}_2\text{K}_{2.8}\text{Al}_{8.8}\text{Si}_{39.2}\text{O}_{96} \cdot 34\text{H}_2\text{O}$ ), 19.5% quartz ( $\text{SiO}_2$ ), and 2% anorthite ( $\text{Ca}_{0.86}\text{Na}_{0.14}\text{Al}_{1.94}\text{Si}_{2.06}\text{O}_{8.01}$ ). According to elemental analysis, it can be argued that the zeolite tuff of the Nakhchivan Autonomous Republic of

Kyukyuchay deposit was distinguished by phase purity, i.e., the bulk of the sample was concentrated on mordenite. Impurities were present in small quantities. Comparison of X-ray data obtained for the zeolitic tuff of Nakhchivan (Figure 1 (a)) with literature data showed that the studied sample of zeolite consisted mainly of mordenite [12]. The peaks in the diffractogram with interplanar distances  $d = 3.34 \text{ \AA}$ ,  $2.45 \text{ \AA}$ ,  $2.28 \text{ \AA}$ , and  $2.12 \text{ \AA}$  indicate the  $\alpha$ -quartz content. Also, a small amount of anorthite ( $4.30 \text{ \AA}$ ,  $3.60 \text{ \AA}$ ,  $3.40 \text{ \AA}$ , and  $3.19 \text{ \AA}$ ) was found in the sample composition. SEM image of the Nakhchivan zeolitic tuff is presented in Figure 1 (b), showing that the sample is characterised by an indeterminate surface relief with microcrystals of different sizes on the surface, possibly due to its mineral composition.

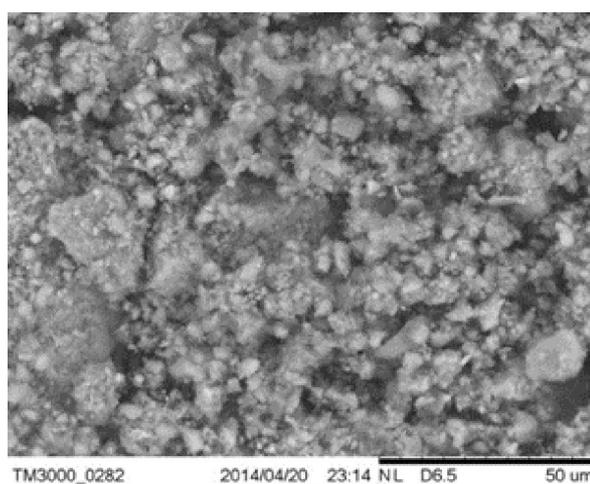
Chabazite has been synthesised in alkaline solutions (LiOH) at different temperatures and crystallisation times. The obtained results have shown that chabazite with a high degree of crystallinity has been obtained in alkaline solutions of LiOH ranging from 5 to 30 % at temperatures of 80–250 °C and a processing time of 10–100 hours.

X-ray diffraction patterns of the chabazite and its micrograph are shown in Figure 2 (a) and (b), respectively. Table presents the data from the X-ray diffraction analysis.

According to the X-ray phase analysis, chabazite crystallises in the cubic crystal system with the unit cell parameter  $a = 9.459 \text{ \AA}$ .



(a)



(b)

Fig. 1. The X-ray diffraction pattern of Nakhchivan zeolitic tuff\* (a) and its SEM image (b)  
Note. \*(M – mordenite, Q – quartz, A – anorthite).

The synthesised chabazite was characterised by a high degree of crystallinity, which is presented in Figure 2 (a) and provides its SEM image in Figure 2 (b). The presented XRD pattern (Figure 2 (a), Table) relates to chabazite obtained under optimum conditions with a 100% degree of crystallinity.

Using the thermogravimetric analysis (Figure 3), the region of dehydration and thermostability of the chabazite have been established. The DTA curve is characterised by one endothermic and one exothermic effect.

The endothermic effect corresponds to the dehydration of the sample with a maximum of 230 °C, at which the weight loss along the TG curve is 24%. The exothermic effect, detected at a temperature with a maximum of 950 °C, according to X-ray diffraction analysis, refers to the destruction of the crystal structure of chabazite and the formation of sanidine, quartz, and anorthite. The diffractogram of the products after 950 °C is shown in Figure 4.

The crystallization of chabazite in solutions of LiOH has been studied at

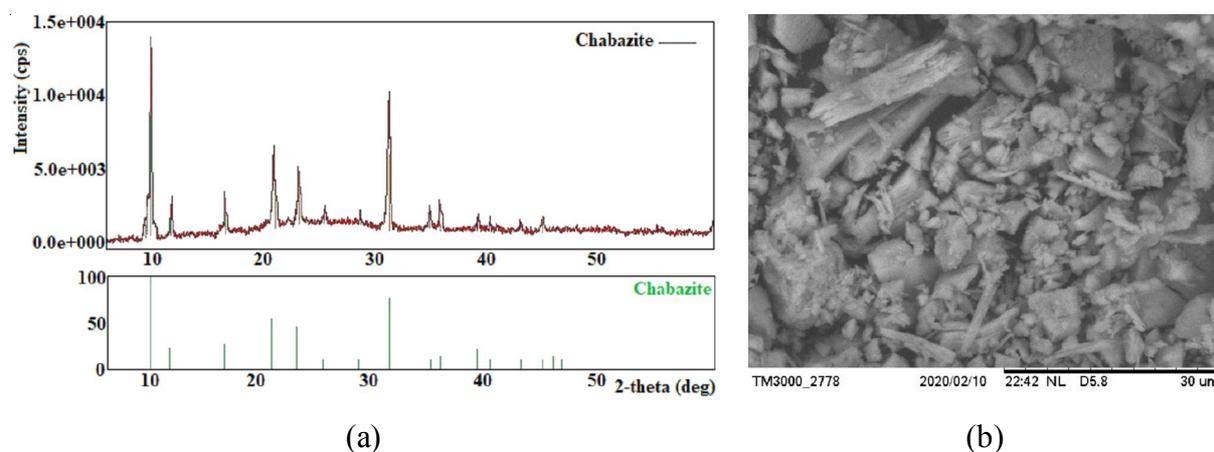


Fig. 2. The X-ray diffraction pattern of chabazite with 100% degree of crystallinity (a) and its SEM image (b)

#### X-ray diffraction data of the obtained chabazite

Chabazite			
$d_{exp}, \text{\AA}$	$I_{rel}$	hkl	$d_{calc}, \text{\AA}$
9.44	100	100	9.44
6.68	20	101	6.68
5.46	25	111	5.46
4.24	50	201	4.23
3.89	40	211	3.86
3.36	10	202	3.34
3.14	10	300	3.15
3.05	10	301	3.00
2.94	70	311	2.95
2.62	15	320	2.62
2.52	20	312	2.52
2.32	10	322	2.29
2.23	10	303	2.23
2.17	10	402	2.11
2.10	15	412	2.06
2.07	10	323	2.01
1.96	10	422	1.93
1.88	10	500	1.89
1.87	10	501	1.86

Note.  $d_{exp}$  – experimentally obtained value of the interplanar distance;  $I_{rel}$  – relative intensity of diffraction lines; hkl – Miller indices characterizing the arrangement of atomic planes in the crystal;  $d_{calc}$  – calculated value of the interplanar distance.

temperatures in the range of 80–250 °C. The X-ray diffraction patterns of crystallisation products in the obtained solutions are presented in Figure 5.

It has been found that at a temperature of 80 °C, crystallization products consist of a mix of chabazite, unreacted mordenite, and quartz (Figure 5(a)). Studies have shown that the optimum crystallisation temperature of chabazite with a high degree of crystallinity is 100 °C. The temperature range of 120–150 °C promotes crystallisation in addition to chabazite, clinoptilolite, and albite (Figure 5 (b)). In the temperature range of 150–200 °C, chabazite, clinoptilolite, and cristobalite (Figure 5 (c)) and at 200–250 °C, chabazite and clinoptilolite (Figure 5 (e)) have been obtained.

The effect of alkaline solution concentration has been studied in solutions of LiOH (in the range of 5–30%).

The obtained results have shown that experiments in the natural mineral LiOH system at a 5% concentration of LiOH crystallise unreacted mordenite, chabazite, and quartz (Figure 5(a)). Pure chabazite with a 100% degree of crystallinity has been obtained in the LiOH concentration range of 10–20%. The study of the influence of the concentration of LiOH solution in the range of 20–25% has shown that clinoptilolite and chabazite are obtained (Figure 5 (e)). A further increase in the concentration of LiOH (in the range of 25–30%) promotes the crystallisation of cristobalite, albite, and hydrosodalite (Figure 5 (d)).

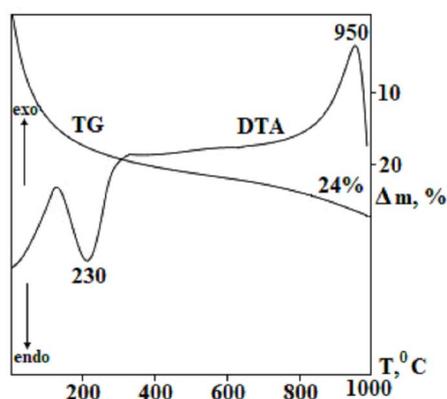


Fig. 3. Thermogram of synthesized chabazite zeolite obtained under optimal conditions

The optimal crystallisation time of chabazite with a 100% degree of crystallinity is 50 hours.

Less than 50 hours of processing time (starting from 10 hours) contribute to the formation of unreacted mordenite, chabazite, and quartz (Figure 5(a)). When processing over 50 hours, that is, in the time interval 60–80 hours, clinoptilolite, chabazite, and cristobalite appeared in the crystallisation products (Figure 5 (c)). In the interval of 80–100 hours, hydrosodalite and albite were obtained (Figure 5 (f)).

Having studied the process of crystallisation of chabazite, the optimal conditions for its synthesis with a high degree of crystallinity were established. The chabazite obtained under optimal conditions differed in phase purity and had a high degree of crystallinity. Chabazite with a 100% degree of crystallinity has been obtained under the following optimal conditions: a temperature of 100 °C, LiOH concentrations of 10–20%, and a processing time of 50 hours.

### Conclusions

The natural mineral of Nakhchivan has been used for the synthesis of the potential practical importance of zeolite in chabazite. The effects of temperature, alkaline solution concentrations, and processing time on crystallisation have been investigated. The obtained results have shown that chabazite with a high degree of crystallinity (100%) can be obtained at a temperature of 100 °C, alkaline solution LiOH concentrations of 10–20%, and a processing time of 50 hours.

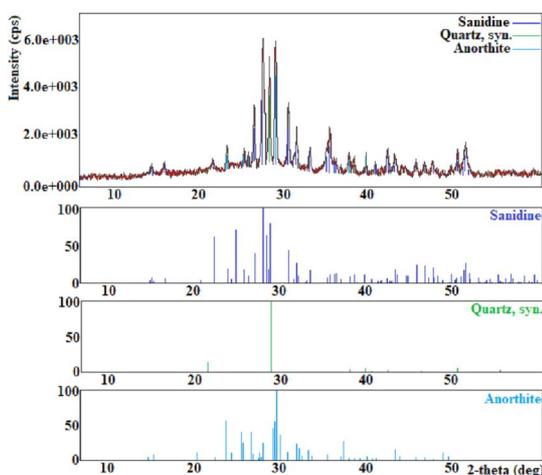


Fig. 4. The X-ray diffraction pattern of the products after 950 °C

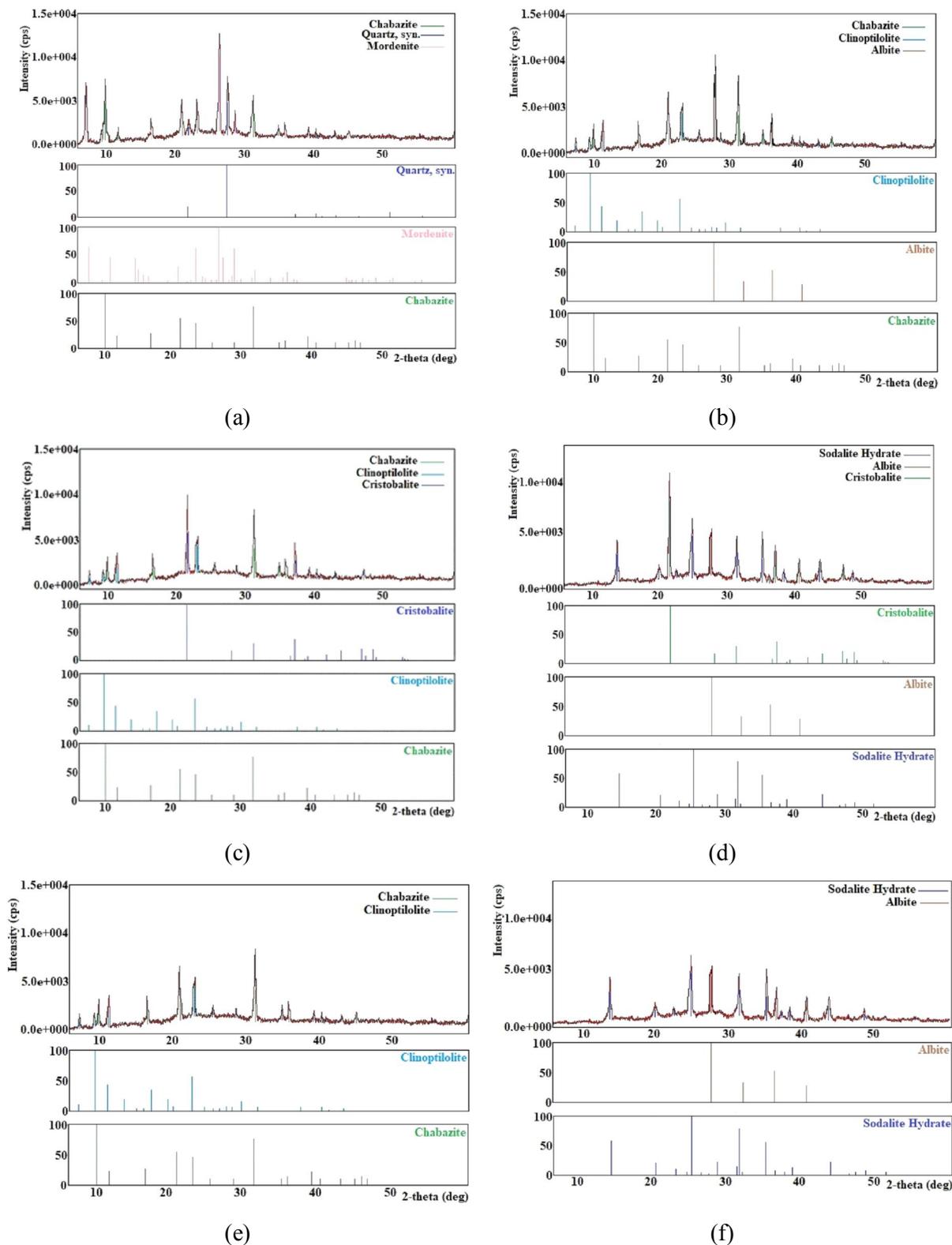


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of crystallization products obtained: (a) at 80 °C, at 5 % LiOH and for 10–50 hours; (b) at 120–150 °C; (c) at 150–200 °C and for 60–80 hours; (d) at 25–30% LiOH; (e) at 200–250 °C, at 20–25 % LiOH; (f) for 80–100 hours

Moreover, it was shown that a change in the synthesis conditions (temperature, alkaline solution concentration, processing time) can greatly affect the results of crystallisation. The optimal conditions (temperature of 100 °C, alkaline solution LiOH concentrations of 10–20%, processing time of 50 hours) for the synthesis of chabazite zeolite with a high degree of crystallinity have been established. Research has shown that, at temperatures below 100 °C, mordenite+chabazite+quartz is present in the reaction products, and at temperatures above 100 °C, chabazite+clinoptilolite+albite, chabazite+clinoptilolite+crystalobalite, and chabazite+clinoptilolite were obtained. At a concentration of LiOH below 10%, mordenite+quartz+chabazite are present in crystallisation products, and at a concentration of LiOH above 20%, clinoptilolite+chabazite, hydrosodalite+albite+crystalobalite were obtained. And also, when processing time below 50 hours, mordenite+quartz+chabazite crystallized, and when processing over 50 hours – clinoptilolite+chabazite+crystalobalite, hydrosodalite+albite was obtained.

#### REFERENCES

1. Yakubovich O.V., Massa W., Gavrilenko P.G., Pekov I.V. Crystal Structure of Chabazite K. *Crystallography Reports*, 2005, vol. 50, pp. 544-553. DOI: <https://doi.org/10.1134/1.1996728>
2. Machteld M.M., Stephen N.V. Synthesis of Chabazite-Containing Molecular Sieves and Their Use in the Conversion of Oxygenates to Olefins. *USA Patent*, 2013, no. 8,399,578 B2
3. Yashodhan B., Manuel M.-M., Jonathan D.L., et al. Effect of Cage Size on the Selective Conversion of Methanol to Light Olefins. *ACS Catalysis*, 2012, vol. 2, no. 12, pp. 2490-2495. DOI: <https://doi.org/10.1021/cs300558x>
4. Maeno Z., Wu X., Shunsaku Y., et al. In-Exchanged CHA Zeolites for Selective Dehydrogenation of Ethane: Characterization and Effect of Zeolite Framework Type. *Catalysts*, 2020, vol. 10, no. 7, pp. 807-817. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal10070807>
5. Anita G., Oliver L.I., Soren B.R., et al. Site-Specific Reactivity of Copper Chabazite Zeolites with Nitric Oxide, Ammonia, and Oxygen. *ChemCatChem*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 366-370. DOI: <https://doi.org/10.1002/cctc.201701357>
6. Hamza A., Serpil E., Celalettin O., et al. Use of Chabazite, a Naturally Abundant Zeolite, for the Investigation of the Adsorption Kinetics and Mechanism of Methylene Blue Dye. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2016, vol. 235, pp. 78-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.08.007>
7. Long V.D., Son T.L., Raul F.L., Trong D.P. Hydrothermal Synthesis of Alkali-Free Chabazite Zeolites. *Journal of Porous Materials*, 2020, vol. 27, pp. 1481-1489. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10934-020-00923-y>
8. Hasna A.J., Koji M., Kaito O., et al. Synthesis of High Silica SSZ-13 in Fluoride-Free Media by Dry Gel Conversion Method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2019, vol. 278, pp. 322-326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.01.006>
9. Xiong W., Qinming W., Chunyu C., et al. Atom-Economical Synthesis of a High Silica CHA Zeolite Using a Solvent-Free Route. *Chemical Communications*, 2015, vol. 51, no. 95, pp. 16920-16923. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5CC05980A>
10. Nuria M., Manuel M., Avelino C. High Yield Synthesis of High-Silica Chabazite by Combining the Role of Zeolite Precursors and Tetraethylammonium: SCR of NO<sub>x</sub>. *Chemical Communications*, 2015, vol. 51, no. 49, pp. 9965-9968. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5CC02670A>
11. Hyunjung L., Prabir K.D. Synthesis of Free-Standing Chabazite-Type Films. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2000, vol. 38, pp. 151-159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(99\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(99)00289-9)
12. Sánchez-Lypez P., Antúnez-García J., Fuentes-Moyado S., et al. Analysis of Theoretical and Experimental X-Ray Diffraction Patterns for Distinct Mordenite Frameworks. *Journal of Materials Science*, 2019, vol. 54, no. 10, pp. 7745-7757. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03407-w>

### **Information About the Authors**

**Gunel A. Mamedova**, PhD (Chemistry), Associate Professor, Head of Laboratory, Institute of Natural Resources (Nakhchivan), Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Prosp. Heydara Aliyeva, 35, AZ7000 Nakhchivan, Azerbaijan Republic, [gunelmamadova@mail.ru](mailto:gunelmamadova@mail.ru)

**Gunel F. Nasirli**, Postgraduate Student, Junior Researcher, Institute of Natural Resources (Nakhchivan), Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Prosp. Heydara Aliyeva, 35, AZ7000 Nakhchivan, Azerbaijan Republic, [nesirligunel95@gmail.com](mailto:nesirligunel95@gmail.com)

**Tofig A. Aliyev**, Doctor of Sciences (Chemistry), Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Professor, Director of the Institute of Natural Resources (Nakhchivan), Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Prosp. Heydara Aliyeva, 35, AZ7000 Nakhchivan, Azerbaijan Republic, [tofig\\_aliyev@yahoo.com](mailto:tofig_aliyev@yahoo.com)

### **Информация об авторах**

**Гюнель Аслан кызы Мамедова**, PhD (химия), доцент, заведующий лабораторией, Институт природных ресурсов (Нахчыван), Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, просп. Гейдара Алиева, 35, AZ7000 г. Нахчыван, Азербайджанская Республика, [gunelmamadova@mail.ru](mailto:gunelmamadova@mail.ru)

**Гюнель Фазиль кызы Насирли**, аспирант, младший научный сотрудник, Институт природных ресурсов (Нахчыван), Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, просп. Гейдара Алиева, 35, AZ7000 г. Нахчыван, Азербайджанская Республика, [nesirligunel95@gmail.com](mailto:nesirligunel95@gmail.com)

**Тофиг Аббасали оглы Алиев**, доктор химических наук, член-корреспондент Национальной Академии Наук Азербайджана, профессор, директор Института природных ресурсов (Нахчыван), Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, просп. Гейдара Алиева, 35, AZ7000 г. Нахчыван, Азербайджанская Республика, [tofig\\_aliyev@yahoo.com](mailto:tofig_aliyev@yahoo.com)



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.6>

UDC 631.41

LBC 40.322

## A MULTI-WAVE METHOD FOR DETERMINING THE PHOSPHORUS CONTENT IN SANDY SOIL BASED ON THE RESULTS OF MEASURING MOISTURE AND SOIL ABSORPTION COEFFICIENT

**Turkan N. gizi Amirova**

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

**Humar S. gizi Aliyeva**

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

**Abstract.** The moisture content of the soil significantly affects the results of spectral methods for determining various organic substances present in the soil. Well-known studies of the effect of sandy soil moisture on the results of spectral measurements of the absorption coefficient in the spectral range of 225–2550 nm, conducted to determine the amount of phosphorus in the soil, allowed us to compile a calibration model for predicting phosphorus in sandy soil based on measurements of the spectral characteristics of the soil. Absorption spectra of sandy soil with different values of moisture and phosphorus content were determined, in which water absorption lines at wavelengths of 1450 nm and 1940 nm are clearly visible. At the same time, with an increase in moisture content, an increase in the value of the absorption coefficient is observed. At the same time, with an increase in soil moisture content, the curves obtained at different values of phosphorus content in it differ less and less. The values of the correlation coefficients between the absorption coefficient and the phosphorus concentration over the entire wavelength range  $\lambda = 225\div 2550$  nm were determined. It was found that the highest values of the correlation coefficient are observed in soil with minimal moisture content, in the wavelength range of 1900–2500 nm. The above results were used to predict the amount of phosphorus in the soil. On this basis, a method was proposed to determine the concentration of phosphorus in the soil, which has an error due to the inaccuracy of determining the correlation coefficient and the absorption coefficient. To eliminate this drawback, the use of multi-wave techniques is proposed in this article. A two-wave method for determining phosphorus in sandy soil is proposed, a block diagram of the algorithm for implementing the two-wave method is compiled. It is shown that when using a two-wave method for determining the phosphorus content in the soil, the total random error decreases by a factor of  $\sqrt{2}$ . It is noted that when using the  $m$ -number of wavelengths in calculations and measurements, the corresponding random error will decrease by a factor of  $\sqrt{m}$ . A general algorithm for the implementation of the multiwave method has been compiled

**Key words:** absorption, moisture content, sandy soil, phosphorus concentration, soil.

**Citation.** Amirova T.N. gizi, Aliyeva H.S. gizi. A Multi-Wave Method for Determining the Phosphorus Content in Sandy Soil Based on the Results of Measuring Moisture and Soil Absorption Coefficient. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 48-53. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.6>

УДК 631.41  
ББК 40.322

## МНОГОВОЛНОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПЕСОЧНОЙ ПОЧВЕ НА БАЗЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЧВЫ

**Туркан Назим гызы Амирова**

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Хумар Сабир гызы Алиева**

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** Влагосодержание почвы существенно влияет на результаты спектральных методов определения различных органических веществ, имеющих в почве. Известные исследования влияния влажности песочной почвы на результаты спектральных измерений коэффициента поглощения в спектральном диапазоне 225–2550 нм, проводимых для определения количества фосфора в почве позволили составить калибрационную модель для предсказания фосфора в песочной почве на базе измерений спектральных характеристик почвы. Были определены спектры поглощения песочной почвы с различными значениями содержания влаги и фосфора, в которых отчетливо видны линии поглощения воды на длинах волн 1450 нм и 1940 нм. При этом с увеличением влагосодержания наблюдается увеличение значения коэффициента поглощения. Вместе с тем с ростом влагосодержания почвы кривые, полученные при разных значениях содержания фосфора в ней различаются все слабее. Были определены значения коэффициентов корреляции между коэффициентом поглощения и концентрацией фосфора во всем диапазоне длин волн  $\lambda = 225\div 2550$  нм. Было обнаружено, что наиболее высокие значения коэффициента корреляции наблюдаются у почвы с минимальным влагосодержанием, в области длин волн 1900–2500 нм. Вышеизложенные результаты были использованы с целью предсказания количества фосфора в почве. На этой основе был предложен метод для определения концентрации фосфора в почве, которая обладает погрешностью из-за неточности определения коэффициента корреляции и коэффициента абсорбции. Для устранения этого недостатка в настоящей статье предложено применение многоволновых методик, двухволновый метод определения фосфора в песочной почве, составлена блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода. Показано, что при использовании двухволновой методики определения содержания фосфора в почве суммарная случайная погрешность уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз. Отмечено, что при использовании  $m$ -количества длин волн при расчетах и измерениях соответствующая случайная погрешность уменьшится в  $\sqrt{m}$  раз. Составлен общий алгоритм реализации многоволнового метода.

**Ключевые слова:** поглощение, влагосодержание, песочная почва, концентрация фосфора, почва.

**Цитирование.** Амирова Т. Н. гызы, Алиева Х. С. гызы. Многоволновая методика определения содержания фосфора в песочной почве на базе результатов измерения влажности и коэффициента поглощения почвы // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 48–53. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.6>

### Введение

Как отмечается в работах [5; 6], влагосодержание почвы существенно влияет на результаты спектральных методов определения различных органических веществ, имеющих в почве. Влияние влажности на результаты спектральных методов определения фосфора в почве было исследовано в работах [1; 3; 4; 7]. В частности, в работе [2] было исследовано

влияние влажности песочной почвы на результаты спектральных измерений коэффициента поглощения в спектральном диапазоне 225–2550 нм, проводимых для определения количества фосфора в почве. Целью исследований, проводимых в этой работе, было составление калибрационной модели, служащей для предсказания фосфора в песочной почве на базе измерений спектральных характеристик почвы.

Изложим вкратце основные результаты, полученные в работе [2].

1. Были определены спектры поглощения песочной почвы с различными значениями содержания влаги и фосфора. В качестве примера на рисунке 1 приведены кривые зависимости коэффициента поглощения от длины волны при разных значениях фосфора при влагосодержании 4 % (а); 8 % (b) и 12 % (с). Как видно из приведенных графиков, в них отчетливо видны линии поглощения воды на длинах волн 1450 нм и 1940 нм. При этом с увеличением влагосодержания наблюдается

увеличение значения коэффициента поглощения. Вместе с тем с ростом влагосодержания почвы, кривые полученные при разных значениях содержания фосфора в ней различаются все слабее.

2. Были определены значения коэффициентов корреляции между коэффициентом поглощения и концентрацией фосфора во всем диапазоне длин волн нм. Соответствующие графики приведены на рисунке 2.

Как видно из графиков приведенных на рисунке 2. Наиболее высокие значения коэффициента корреляции наблюдается у почвы с

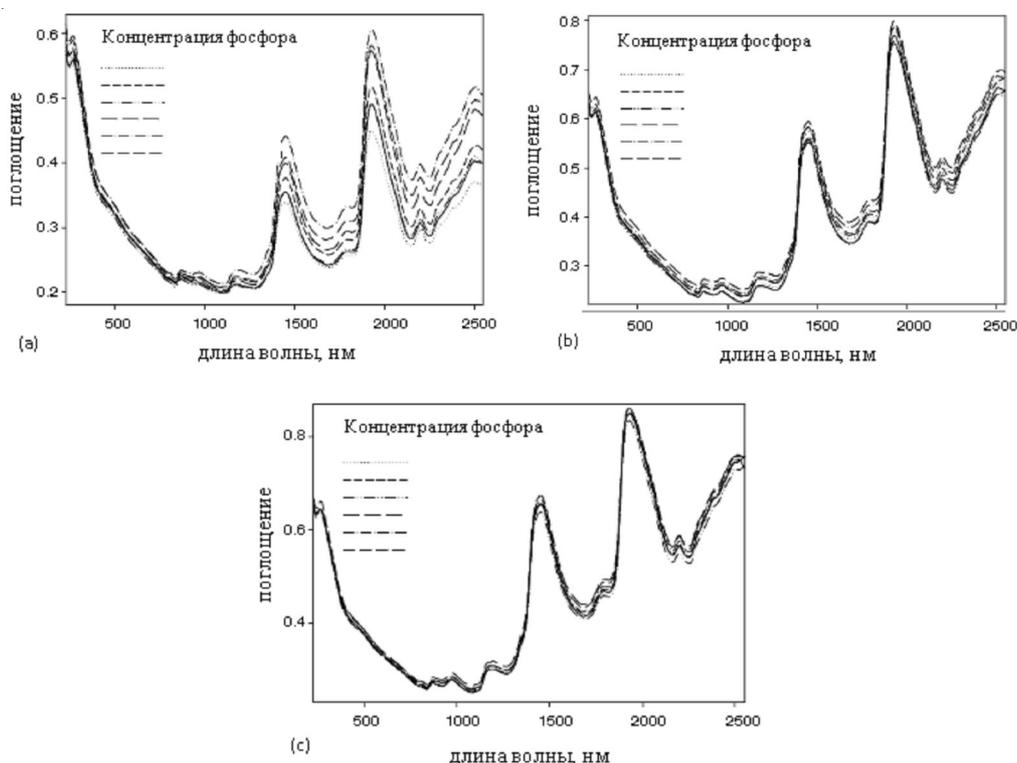


Рис. 1. Спектры поглощения почвы при разных содержаниях фосфора при влажности (а) 4 %; (b) 8 %; (с) 12 %

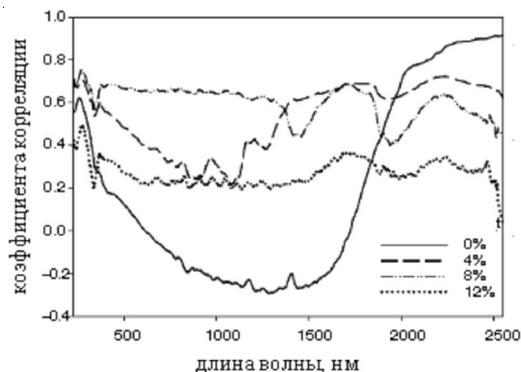


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента корреляции от длины волны при разных значениях влагосодержания

минимальным влагосодержанием, в области длин волн 1900–2500 нм. Вышеизложенные результаты были использованы с целью предсказания количества фосфора в почве.

Вычисления предсказанных величин фосфора в почве осуществлялось в следующей последовательности:

1. Определение влагосодержания почвы. Доведение увлажненности до уровня 4 %, либо 8 %, либо 12 %;

2. Определение по графикам, представленных на рисунке 1 значения коэффициента поглощения при заданной величине длины волны  $\lambda$ ;

3. Определение по графикам, представленным на рис. 2 коэффициента корреляции для заданной величины длины волны и величины влагосодержания где  $C = \varphi(\lambda, W)$ .

Вычисление содержания фосфора в почве  $P_{\text{выч}}$  по формуле:

$$P_{\text{выч}} = C(\lambda, W) \cdot A(\lambda, W). \quad (1)$$

Вместе с тем, вышеизложенная методика определения  $P_{\text{выч}}$  обладает относительно невысокой точностью из-за влияния случайных погрешностей в определении таких показателей как  $W$  и  $A$ . Для устранения этого недостатка далее рассматривается возможность применения многоволновых методик.

## Материалы и методы

Рассмотрим предлагаемую двухволновую методику определения  $P_{\text{выч}}$ . Алгоритм реализации указанной методики может быть изложен в виде последовательности следующих операций:

1. Измерение влагосодержания почвы. Доведение влагосодержания до одного из уровней (4 %; 8 %; 12 %).

2. Выбор длин волн  $\lambda_{1,i}$  и  $\lambda_{2,j}$   $i, j = (1, n)$ .

3. Проведение коэффициента поглощения  $A(\lambda_{1,i}, W_0)$ ;  $A(\lambda_{2,j}, W_0)$ .

4. Определение коэффициентов корреляции  $C(\lambda_{1,i}, W_0)$ ;  $C(\lambda_{2,j}, W_0)$ .

5. Вычисление содержания фосфора в почве:

$$P_{\text{выч } i,j} = \frac{A(\lambda_{1,i}, W_0)C(\lambda_{1,i}) + A(\lambda_{2,j}, W_0)C(\lambda_{2,j})}{2}.$$

6. Определение систематической и случайной погрешностей в виде:

$$\delta_{\Sigma i,j} = \frac{\delta(\lambda_{1,i}) + \delta(\lambda_{2,j})}{2}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\Sigma i,j} = \frac{\sigma(\lambda_{1,i}) + \sigma(\lambda_{2,j})}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

где  $\delta(\lambda_{1,i})$ ,  $\delta(\lambda_{2,j})$  – средние значения систематической погрешности по проведенным сериям измерений на длинах  $\lambda_{1,i}$  и  $\lambda_{2,j}$ ;  $\sigma(\lambda_{1,i})$ ,  $\sigma(\lambda_{2,j})$  – соответствующие случайные погрешности по проведенным сериям измерений на длинах волн  $\lambda_{1,i}$  и  $\lambda_{2,j}$ .

7. Определение пары длин волн  $\lambda'_{1,i}$ ;  $\lambda'_{2,j}$  при которых достигается максимальная величина  $P_{\text{выч } i,j}$ , то есть

$$P_{\text{выч } i,j} = \max - \{P_{\text{выч } i,j}\}; i, j = \overline{1, n}.$$

8. Определение содержание фосфора в почве  $P_0$  в качестве

$$P_0 = P_{\text{выч } i',j''}$$

Блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода, описанного выше показана на рисунке 4.

Как следует из вышеизложенного, при использовании двухволновой методики определения содержания фосфора в почве суммарная случайная погрешность уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз. Логично предположить, что при использовании  $m$ -количества длин волн при расчетах и измерениях соответствующая случайная погрешность уменьшится в  $\sqrt{m}$  раз. В этом случае алгоритм реализации многоволнового метода может быть представлен в виде следующей последовательности проводимых операций:

1. Измерение влагосодержания почвы  $W_0$ . Доведение влагосодержания до одного из уровней (4 %; 8 %; 12 %).

2. Проведение измерений коэффициента поглощения:

$$A(\lambda_{1,i}, W_0); A(\lambda_{2,j}, W_0); A(\lambda_{3,k}, W_0) \dots A(\lambda_{m,z}, W_0).$$

3. Определение коэффициентов корреляции:

$$C(\lambda_{1,i}, W_0); C(\lambda_{2,j}, W_0); C(\lambda_{3,k}, W_0) \dots C(\lambda_{m,z}, W_0).$$

4. Вычисление содержания фосфора в почве:

$$P_{\text{выч}} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m A(\lambda_l, W_0) \cdot C(\lambda_l, W_0).$$

При этом для упрощения записи вторые индексы не указаны.

5. Определение систематической и случайной погрешностей:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{l=1}^m \delta(\lambda_l);$$

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \frac{\sum_{l=1}^m \sigma_l^2}{\sqrt{m}}.$$

При этом  $\delta(\lambda_l)$  и  $\delta(\lambda_l)$ -систематические и случайные составляющие погрешности определения коэффициента поглощения на длине волны  $\lambda_l$ .

6. Определение множества длин волн  $\{\lambda_l\}; l = \overline{1, m}$ , при которых достигается максимальная величина  $P_{\text{выч.max}}$ .

7. Определение содержания фосфора в почве в виде:

$$P_0 = P_{\text{выч.max}}.$$

Таким образом, на основе данных, приведенных в работе [2], предложены двухволновые и многоволновые методики определения фосфора в почве, учитывающие влагосодержание почвы.

### Заключение

Проанализированы итоги работ по изучению влияния влагосодержания почвы на результаты измерения коэффициента поглощения в зависимости от длины волны, а также на результаты определения коэффициента корреляции между содержанием фосфора в почве и коэффициентом поглощения на разных длин волн. На основе указанных результатов предложены двухволновые и многоволновые методики определения содержания фосфора в песочной почве в зависимости от влагосодержания почвы.

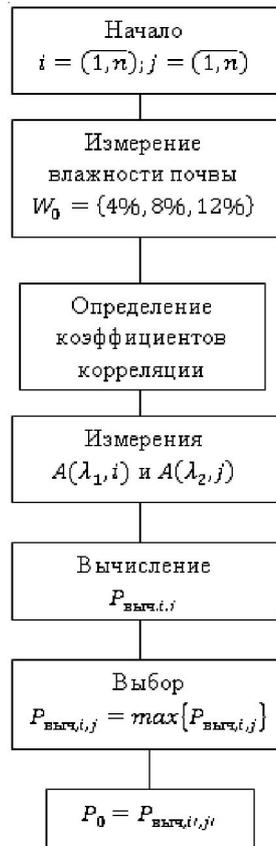


Рис. 4. Блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода  $\lambda_{1i}; \lambda_{2j}; \lambda_{3k} \dots \lambda_{mz}$ , где  $i, j, k, \dots z = \overline{1, n}$

### REFERENCES

1. Bogrekcı I., Lee W.S., Herrera J. Assessment of P Concentrations in the Lake Okeechobee Drainage Basins with Spectroscopic Reflectance of VIS and NIR. *ASAE Paper*, 2003, 031139. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.13745>
2. Bogrekcı I., Lee W.S. Effects of Soil Moisture Content on Absorbance Spectra of Sandy Soils in Sensing Phosphorus Concentrations Using UV-VIS-NIR Spectroscopy. *Trans. ASABE*, 2006, vol. 49, no. 4, pp. 1175-1180. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.21717>
3. Bogrekcı I., Lee W.S. Spectral Measurement of Common Soil Phosphates. *Trans. ASAE*, 2005, vol. 48, no. 6, pp. 2371-2378. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.20076>
4. Lee W.S., Sanchez J.F., Mylavarapu R.S., Choe J.S. Estimating Chemical Properties of Florida Soils Using Spectral Reflectance. *Trans. ASAE*, 2003, vol. 46, no. 5, pp. 1443-1453. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.15438>
5. Galvao L.S., Vitorello I. Variability of Laboratory-Measured Soil Lines of Soils from Southeastern Brazil. *Remote Sens. Environ.*, 1998, vol. 63, no. 2, pp. 166-181. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00135-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00135-1)
5. Kooistra L., Wanders L., Epema G.F., et al. The Potential of Field Spectroscopy for the Assessment of Sediment Properties in River Floodplains. *Analytica Chimica Acta*, 2003, vol. 484, no. 2, pp. 189-200. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(03\)00331-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(03)00331-3)
7. Varvel G.E., Schlemmer M.R., Schepers J.S. Relationship Between Spectral Data from an Aerial Image and Soil Organic Matter and Phosphorus Levels. *Precision Agric.*, 1999, vol. 1, no. 3, pp. 291-300. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009973008521>

### Information About the Authors

**Turkan N. gizi Amirova**, Senior Researcher, Institute of Ecology, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, [stmz@list.ru](mailto:stmz@list.ru)

**Humar S. gizi Aliyeva**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Scientific-Research Institute of Aerospace Information, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, [a.khumar.1962@gmail.com](mailto:a.khumar.1962@gmail.com)

### Информация об авторах

**Туркан Назим гызы Амирова**, старший научный сотрудник, институт экологии, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, [stmz@list.ru](mailto:stmz@list.ru)

**Хумар Сабир гызы Алиева**, кандидат технических наук, доцент, научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, [a.khumar.1962@gmail.com](mailto:a.khumar.1962@gmail.com)



Журнал «Природные системы и ресурсы» издается для широкого ознакомления научной общественности с результатами современных исследований по экологии, геоэкологии, природопользованию, географии, геоинформатике, а также по биотехнологии и биоинженерии.

Авторами журнала могут быть преподаватели, научные сотрудники и аспиранты высших учебных заведений и научно-исследовательских учреждений России, а также другие отечественные и зарубежные исследователи.

---

---

---

---

**ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ,  
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ В РЕДКОЛЛЕГИЮ ЖУРНАЛА  
«ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ»**

1. Материалы представляются на бумажном и электронном носителях по адресу: 400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100, Волгоградский государственный университет – главному редактору Иванцовой Елене Анатольевне или высылаются по электронной почте на адрес: [vestnik11@volsu.ru](mailto:vestnik11@volsu.ru).

Обязательно наличие сопроводительного письма, в котором должны содержаться следующие пункты: гарантия оригинальности статьи, отсутствия в ней недостоверных данных и плагиата; обязательство не подавать данный материал в другой журнал; информация о наличии/отсутствии потенциального конфликта интересов с членами редколлегии; данные о финансировании исследования (с пометкой об их конфиденциальности или необходимости опубликования); согласие с принципами, изложенными в разделе «Издательская этика» журнала (<https://ns.jvolsu.com/index.php/publishing-ethics-ru>).

Для российских авторов (аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук) необходимо дополнительно представить рекомендацию, подписанную научным руководителем и заверенную печатью учреждения.

2. Правила оформления статей.

Объем статьи не должен превышать 1 п. л.

Каждая статья должна включать следующие элементы издательского оформления:

- 1) Индексы УДК и ББК.
- 2) Заглавие. Подзаголовочные данные (на русском и английском языках).
- 3) Имя, отчество, фамилия автора; ученое звание, ученая степень; контактная информация (место работы/учебы и должность автора, полный почтовый адрес организации, телефон, e-mail) на русском и английском языках.
- 4) Аннотация на русском языке и авторское резюме (Abstract) на английском языке.
- 5) 5–8 ключевых слов или словосочетаний (на русском и английском языках).
- 6) Текст статьи.
- 7) Список литературы на русском языке, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.1-2003, и References – список литературы на английском языке (латинским шрифтом), оформленный в соответствии с требованиями редакции. При необходимости – примечания, приложения.

2.1. Требования к авторским оригиналам на бумажном и электронном носителях.

- 1) Поля по 2 см с каждой стороны.
- 2) Нумерация страницы по центру внизу.
- 3) Шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.
- 4) Файл должен быть создан в программе «Microsoft Word» и сохранен с расширением \*.rtf; имя файла должно быть набрано латиницей и отражать фамилию автора.

2.2. Оформление библиографических ссылок и примечаний.

- 1) Библиографические ссылки на пристатейный список литературы должны быть оформлены с указанием в строке текста в квадратных скобках цифрового порядкового номера источника и через запятую номеров соответствующих страниц.
- 2) Пристатейный список литературы, озаглавленный как «Список литературы», составляется в алфавитном пронумерованном порядке. Он должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.1–2003 с указанием обязательных сведений библиографического описания.

3. После получения материалов рукопись направляется на рецензирование. Решение о публикации статей принимается редакционной коллегией после рецензирования. Редакция оставляет за собой право отклонить или отправить представленные статьи на доработку на основании соответствующих заключений рецензентов. После получения положительной рецензии редакция уведомляет авторов о том, что статья принята к опубликованию, а также направляет замечания рецензентов и редакторов, в соответствии с которыми необходимо исправить или дополнить статью. В случае отказа в публикации статьи редакция представляет автору мотивированный отказ.

Полнотекстовые версии опубликованных статей и их метаданные (аннотации, ключевые слова, информация об авторах на русском и английском языках, список литературы) будут размещены в свободном доступе в Интернете на официальном сайте издания, на платформе Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и других реферативных баз данных.

4. Более подробно с требованиями к статьям можно ознакомиться на страничке Издательства на сайте Волгоградского государственного университета: <https://www.volsu.ru> – и сайте журнала: <https://ns.jvolsu.com>.

---

---