

ISSN (Print) 2616-7034
ISSN (Online) 2663-130X

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

BIOSCIENCE Series

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

1(146)/ 2024

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2024

Astana, 2024

Бас редактор:

Р.І. Берсімбаев,

ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары **Ж.К. Масалимов, б.ғ.к., доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан**

Редакция алқасы:

| | |
|--------------------------|---|
| Акильжанова А.Р. | м.ғ.д., PhD, Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан) |
| Аликулов З.А. | б.ғ.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан) |
| Аскарова Ш.Н. | б.ғ.к., PhD, Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан) |
| Ау У. | PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ) |
| Бисенбаев А.К. | б.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы (Қазақстан) |
| Здунек-Застока Э. | PhD, проф., Варшава жаратылыстану ғылымдары университеті, Варшава (Польша) |
| Изотти А. | PhD, проф., Генуя университеті, Генуя (Италия) |
| Ильдербаев О.З. | м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан) |
| Коломиец М. | PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ) |
| Константинов Ю.М. | б.ғ.д., проф., Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск (Ресей) |
| Курманбаева А.Б. | PhD, оқытушы-зерттеуші, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан) |
| Позо М.Х. | PhD, Испания ұлттық зерттеу кеңесінің Zaidin тәжірибелік станциясы, Гранада (Испания) |
| Рубцов Н. | б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей) |
| Саги М. | PhD, проф., Бен Гурион атындағы Негев университеті, Беэр-Шева (Израиль) |
| Сарбасов Д.Д. | PhD, проф., Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан) |
| Тарлыков П.В. | PhD, зертхана меңгерушісі, Ұлттық биотехнология орталығы, Астана (Қазақстан) |
| Халилов Р.И. | ф.-м.ғ.д., Баку мемлекеттік университеті, Баку (Әзірбайжан) |

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.

Тел.: +7 (7172) 709-500, (ішкі 31-428). E-mail: eurjourbio@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: **А. Бекбаева**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. **БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР** сериясы
Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

02.02.2021ж. № KZ11VPY00031938 қайта есепке қою туралы күәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: <http://bulbio.enu.kz>

Editor-in-Chief:

R.I. Bersimbaev,

*Academician of NAS RK, Doctor of Biological Sciences, Prof.,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Deputy Editor-in-Chief:

Zh.K. Masalimov, *Candidate of Biological Sciences, Associate professor,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Editorial board

| | |
|---------------------------|--|
| Akilzhanova A.R. | Doctor of Medical Sciences, PhD, Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan) |
| Alikulov Z.A. | Prof., Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan) |
| Askarova Sh.N. | PhD, Can. of Biological Sciences, Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan) |
| Au W. | PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA) |
| Bisenbayev A.K. | Doctor of Biological Sciences, Prof., Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan) |
| Zdunek-Zastocka E. | PhD, Prof, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw (Poland) |
| Izzotti A. | PhD, Prof., University of Genoa, Genoa (Italy) |
| Ilderbayev O.Z. | Doctor of Medical Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan) |
| Kolomic M. | PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA) |
| Konstantinov Yu.M. | Doctor of Biological Sciences, Prof., Irkutsk State University, Irkutsk (Russia) |
| Kurmanbayeva A.B. | PhD, teacher-researcher, L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan) |
| Pozo M.J. | PhD, Zaidin Experimental Station of the Spanish National Research Council, Granada (Spain) |
| Rubtsov N. | Doctor of Biological Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia) |
| Sagi M. | PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva (Israel) |
| Sarbassov D.D. | PhD, Prof., Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan) |
| Tarlykov P.V. | PhD, Head of the Laboratory, National Center for Biotechnology, Astana (Kazakhstan) |
| Khalilov R.I. | Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baku State University, Baku (Azerbaijan) |

Editorial address: **2 Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan, 010008**

Tel.: **+7 (7172) 709-500 (ext. 31-428)**, E-mail: **eurjourbio@enu.kz**

Responsible secretary, computer layout: **Aliya Bekbayeva**

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. BIOSCIENCE Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan Rediscount certificate № KZ11VPY00031938 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-428). Website: <http://bulbio.enu.kz>

Главный редактор:

Р.И. Берсимбай,

профессор, д.б.н., академик НАН РК, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Зам. главного редактора

Ж.К. Масалимов, *к.б.н., доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

Редакционная коллегия:

| | |
|--------------------------|---|
| Акильжанова А.Р. | д.м.н., PhD, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан) |
| Аликулов З.А. | к.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан) |
| Аскарова Ш.Н. | к.б.н., PhD, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан) |
| Ау У. | PhD, проф., Техасский университет, Техас (США) |
| Бисенбаев А.К. | д.б.н., проф., академик НАН РК, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы (Казахстан) |
| Здунек-Застока Э. | PhD, проф., Варшавский университет естественных наук, Варшава (Польша) |
| Изотти А. | PhD, проф., Университет Генуя, Генуя (Италия) |
| Ильдербаев О.З. | д.м.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан) |
| Коломиец М. | PhD, профессор, Техасский университет, Техас (США) |
| Константинов Ю.М. | д.б.н., проф., Иркутский государственный университет, Иркутск (Россия) |
| Курманбаева А.Б. | PhD, преподаватель-исследователь, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан) |
| Позо М.Х. | PhD, Экспериментальная станция Zaidin Испанского национального исследовательского совета, Гранада (Испания) |
| Рубцов Н. | д.б.н., профессор, Институт цитологии и генетики, Новосибирск (Россия) |
| Саги М. | PhD, профессор, Университет имени Бен-Гуриона в Негеве, Беэр-Шева (Израиль) |
| Сарбасов Д.Д. | PhD, профессор, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан) |
| Тарлыков П.В. | PhD, заведующий лабораторией, Национальный центр биотехнологии, Астана (Казахстан) |
| Халилов Р.И. | д.ф.-м.н., Бакинский государственный университет, Баку (Азербайджан) |

Адрес редакции: **010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,**
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел.: +7(7172) 709-500 (вн. 31-428). E-mail: eurjourbio@enu.kz
Ответственный секретарь, компьютерная верстка: **А.Бекбаева**

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия **БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**
Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»
Периодичность: 4 раза в год
Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Свидетельство о постановке на переучет № KZ11VPY00031938 от 02.02.2021 г.
Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: <http://bulbio.enu.kz>







МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Серібекқызы Г., Батырова К.И., Есимов Б.К., Саимова Р.У., Айтпан Ә.М., Коч Х. <i>Табиғи биогеоценоздар мен техногендік аумақтардағы Lumbricidae түрлік құрамына экологиялық-фауналық талдау.....</i> | |
| Seribekkyzy G., Batyrova K.I., Esimov B.K., Saimova R.U., Aitpan A.M., Koc H. <i>Ecological and Faunistic Analysis of Lumbricidae Species Composition of Natural Biogeocenoses and Man-made Territories.....</i> | |
| Серібекқызы Г., Батырова К.И., Есимов Б.К., Саимова Р.У., Айтпан А.М., Коч Х. <i>Эколого-фаунистический анализ видового состава Lumbricidae естественных биогеоценозов и техногенных территорий.....</i> | 7 |
| Айпеисова С.А., Утарбаева Н.А., Казкеев Е.Т. <i>Ақтөбе флористикалық округі флорасының қалыптасу тарихы мәселесі.....</i> | |
| Aipeisova S.A., Utarbayeva N.A., Kazkeev E.T. <i>On the issue of the history of the formation of the flora of the Aktobe floral district.....</i> | |
| Айпеисова С.А., Утарбаева Н.А., Казкеев Е.Т. <i>К вопросу истории формирования флоры Актюбинского флористического округа.....</i> | 20 |
| Утеулиева Д.Т., Альжанова Б.С., Бисенгазиева А.С., Ихласова Ж.М., Джангазиева Б.Ж. <i>Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтағы (Artemisia lerchiana, Festuca valesiaca) өнімділік процесі.....</i> | |
| Uteulieva D.T., Alzhanova B.S., Bisengazieva A.S., Ikhlasova Zh.M., Jangaziyeva B.Zh. <i>The process of productivity in the community of common fescue-lerh wormwood (Artemisia lerchiana, Festuca valesiaca).....</i> | |
| Утеулиева Д.Т., Альжанова Б.С., Бисенгазиева А.С., Ихласова Ж.М., Джангазиева Б.Ж. <i>Процесс продуктивности типчакково-лерхополынного сообщества (Artemisia lerchiana, Festuca valesiaca).....</i> | 39 |
| Букабаева Ж.Т., Силыбаева Б.М., Ахметжанова А.М., Ануарбекова А.Н. <i>Бурабай бағының лишенофлорасындағы Cladonia түрлерін зерттеу.....</i> | |
| Bukabayeva Zh.T., Silybayeva B.M., Akhmetzhanova A.M., Anuarbekova A.N. <i>Study of Cladonia species growing in various areas of Burabai Park.....</i> | |
| Букабаева Ж.Т., Силыбаева Б.М., Ахметжанова А.М., Ануарбекова А.Н. <i>Изучение видов Cladonia, произрастающих в различных районах парка Бурабай.....</i> | 55 |
| Назарбеков Ә.М., Қасымханова Б.Н., Қуанышбаева М.Г., Сапарова Г.С. <i>Семей аймағы құмырсқаларының түрлік құрамы.....</i> | |
| Nazarbekov A.M., Kasymkhanova B.N., Kuanyshbaeva M.N., Saparova G.S. <i>Species composition of ants of the Semey region.....</i> | |
| Назарбеков А.М., Касымханова Б.Н., Қуанышбаева М.Г., Сапарова Г.С. <i>Видовой состав муравьев Семейского региона.....</i> | 76 |

| | |
|---|-----|
| Смағұл Ғ.Р., Синявский Ю.А., Туйғунов Д.Н., Савенкова Т.В. <i>Шоколад және снэк өнімдерін пробиотикалық дақылдармен байыту мүмкіндігін зерттеу</i> Smagul G.R., Sinyavskiy Yu.A., Tuigunov D.N., Savenkova T.V. <i>Study of the possibility of fortification chocolate and snack products with probiotic cultures.....</i> | |
| Смағұл Ғ.Р., Синявский Ю.А., Туйғунов Д.Н., Савенкова Т.В. <i>Исследование возможности обогащения шоколадных и снековых изделий пробиотическими культурами.....</i> | 87 |
| Кабенова О.Ю., Шугждейте Р., Кустубаева А.М. <i>Мидың МРТ көрсеткіштерінің жас ерекшеліктеріне қатыстылығы және оларды сандық анықтау әдістері.....</i> | |
| Kabenova O.Y., Siugzdaite R., Kustubayeva A.M. <i>Age-related features of structural MRI of the brain and methods for their quantification.....</i> | |
| Кабенова О.Ю., Шугждейте Р., Кустубаева А.М. <i>Возрастные особенности показателей структурной МРТ головного мозга и методы их квантификации.....</i> | 103 |
| Жолдыбай М.Н., Джаналиева Н.Ш. <i>Каспий теңізінің суы мен топырағының уыттылық деңгейі.....</i> | |
| Zholdybai M.N., Dzhanaliev N.Sh. <i>Toxicity level of water and soil of the Caspian Sea.....</i> | |
| Жолдыбай М.Н., Джаналиева Н.Ш. <i>Уровень токсичности воды и почвы Каспийского моря.....</i> | 114 |
| Қорғанбек Х.Ғ., Есенбекова П.А. <i>Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның ағаш жартылай қаттықанаттыларының (Hemiptera, Heteroptera) биологиясы мен экологиясы.....</i> | |
| Korganbek Kh.G., Esenbekova P.A. <i>Biology and ecology of arboreal hemipterans (Hemiptera, Heteroptera) in South-Eastern Kazakhstan</i> <i>Қорғанбек Х.Ғ., Есенбекова П.А.</i> <i>Биология и экология древесных полужесткокрылых (Hemiptera, Heteroptera) юго-восточного Казахстана.....</i> | 130 |
| Осадчая Е.В., Татаева Р.К., Алехин А.Н. <i>Ауған соғысы ардагерлерінің ұрыс қимылдарына қатысуы мен кардиометаболикалық және жүрек-қан тамырлары сырқатының қауіп арасындағы байланыс.....</i> | |
| Ossadchaya E.V., Tatayeva R.K., Alekhin A.N. <i>Association between participation in combat operations and the risk of comorbid cardiometabolic and cardiovascular diseases in veterans of the Afghan war.....</i> | |
| Осадчая Е.В., Татаева Р.К., Алехин А.Н. <i>Связь между участием в боевых действиях и риском коморбидных кардиометаболических, сердечно-сосудистых заболеваний у ветеранов Афганской войны.....</i> | 149 |
| Берсимбаев Р.И., Айнагулова Г.С. <i>Асбест әсерінен туындаған өкпе аурулары жасушалық механизмдеріндегі митохондрияның рөлі</i> Bersimbaev R.I., Ainagulova G.S. <i>The role of mitochondria in the cellular mechanisms of lung diseases caused by asbestos exposure</i> | |
| Берсимбаев Р.И., Айнагулова Г.С. <i>Роль митохондрий в клеточных механизмах заболеваний легких, вызванных воздействием асбеста</i> | 160 |
| М.Сатканов, Е.Чупахин <i>Дәрілік заттарды ашу және молекулалық модельдеу кезінде AlphaFold2 болжаған аденозиндік рецепторлар құрылымдарының әлеуеті.....</i> | |
| M. Satkanov, E. Chupakhin <i>The Potential of AlphaFold2-Predicted Adenosine Receptor Structures in Drug Discovery and Molecular Modeling.....</i> | |
| М. Сатканов, Е. Чупахин <i>Потенциал структур аденозиновых рецепторов, предсказанных AlphaFold2, в разработке лекарств и молекулярном моделировании.....</i> | 188 |



Ecological and Faunistic Analysis of Lumbricidae Species Composition of Natural Biogeocenoses and Man-made Territories

G. Seribekkyzy*¹ , K.I. Batyrova¹ , B.K. Esimov¹ , R.U. Saimova¹ , A.M. Aitpan² ,
H. Koc³ 

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh-Russian Medical University, Almaty, Kazakhstan

³Mugla University, Mugla, Turkey

*Corresponding author: gulzynat@mail.ru

Abstract. Earthworms make up the bulk of the soil mesofauna and play an important role in the transformation of organic matter, the formation of the pedosphere, the regulation of the flows of matter, energy and information in ecosystems. In this research, we have studied the species composition of earthworms in urban and suburban ecosystems of the foothills of the Trans Ili-Alatau. As a result of the work, 11 species of the Lumbricidae family of the Oligochaeta class were discovered. 6 species out of them have been discovered in our Republic: *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Octolasion lacteum*, *Dendrobaena octaedra* and *Aporrectodea caliginosa* are widespread. The genus *Lumbricus* is the most common in terms of the number of individuals in the studied territories. Significant differences have been established in the species composition of earthworms in technogenic and natural biogeocenoses. The lumbricides are the absolute dominants in two ecosystems. Along with the species composition of earthworms, seasonal dynamics were also studied, it was found that their maximum activity is observed at the most favorable ratio of temperature and humidity.

Keywords: earthworms, ecological-faunal analysis, species composition, seasonal dynamics, Trans Ili-Alatau.

Introduction

The soil, having a high absorption capacity, is the main accumulator, sorbent and destroyer of toxicants. The soil cover acts as a geochemical barrier to the migration of pollutants, protects adjacent environments from anthropogenic influences. However, the possibilities of soil as a buffer system are not unlimited [1, 2]. Thus, the accumulation of pollutants of various origins in the soil leads to a change in its chemical, physical and biological state, degradation and, ultimately, to the destruction. These negative changes are inevitably accompanied by the impact of soils, primarily on biodiversity, the productivity of the biotic component and the stability of biocenoses in general [3-5].

Currently, one of the vival environmental problems is the degradation of fertile black-earth soils, accompanied by a decrease in humus reserves. Earthworms are active soil generators that contribute to its accumulation and occupy a dominant position among soil-bearing invertebrates [6]. To increase the fertility of degraded black-earth soils, it is necessary to take measures to strengthen the role of these invertebrates, directly involved in the formation of the humus horizon of soils. In this regard, the study of the features of the formation of lumbricofauna in various biogeocenoses is an urgent problem of soil zoology [7]. Information on the fauna and ecology of earthworms is necessary to solve such practical problems as vermiculture, supplementation of earthworms with the aim of their subsequent acclimatization during soil development to increase fertility, as well as to obtain biohumus in artificial conditions. However, the solution of these problems is hampered by insufficient knowledge of the species composition and ecology of earthworms in natural conditions [8].

Earthworm fauna in Kazakhstan are diverse in composition and consist of a number of endemic species confined mainly to mountain regions. However, the dynamics and biotopic distribution of the soil mesofauna of the territory of the Republic of Kazakhstan have not been fully studied and presented only in a few works (A.A. Sokolov, 1956; A.I. Novak, 2015) [9, 10].

The purpose of the work is to study the species composition, the ecological structure of lumbricofauna and the seasonal dynamics of earthworm activity in various ecosystems of the foothills of the Trans Ili-Alatau.

Methodology

The work is based on the results of material processing, collected by the authors in the foothills of the Trans Ili-Alatau, for the period from 2018 to 2021. The material on the species composition of earthworms and the amount is presented in connection with their distribution by types of ecosystems and soils of the Trans Ili-Alatau.

Comparison of data on the distribution of soil mesofauna, among which the most represented group is lumbricides, in different seasons allows to study seasonal fluctuations in the number of this group.

The research was carried out at the Department of biology of the Abai Kazakh national pedagogical university.

The accounting of soil mesofauna was carried out by the hand sampling method recommended by M.S. Gilyarov (1965), which is generally accepted in soil and zoological studies [11]. Soil invertebrates were taken into account when taking 0.25 sq.m. samples to the depth of soil invertebrates. However, the study found that most pedomesobionts occur within the first 40 cm of the soil profile. 12 samples were taken at each of the ten test sites. Mesofauna was taken into account by hand mining of samples in the field in layers (bedding, 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm) [12, 13].

Earthworms were fixed with a weak (0.5%) formalin solution. All material was marked where the date of excavation, the names of the area, the characteristics of the site, the sample number in the numerator and the layer in the denominator were noted, after which a desk determination of group affiliation was carried out. Identification of lumbricides was carried out in accordance with the determination tables by T.S. Vsevolodova-Perel (1979) and V.G. Matveeva (1982) [14].

During the study, a number of indicators were taken into account at the population level: species composition, species abundance, density - the number of individuals per unit area, biomass of lumbricides of the studied biogeocenoses, as well as the occurrence and number of various groups of pedobionts. Data on quantitative accounting of lumbricofauna were processed by methods of variation statistics (Quantitative methods..., 1987) [13]. For each type, the arithmetic mean is calculated. The basis for faunal analysis was the principles for studying the structure of the animal population, developed by Yu.I. Chernov (1975) [15].

Lumbricide biomass was determined by direct weighing of organisms. However, in the case of lumbricides, the weight of the contents of the stomach and intestines must be taken into account while weighing. So, the mass of the intestine of earthworms reaches 26-41% of the total body weight (Geltzer, 1979) [16].

Lumbricides were accounted for in suburban and urban ecosystems. Urban ecosystems were chosen for the reason that it is more exposed to man-made factors. Background biocenoses act as a control object. Soil samples from 8 sites of Almaty City and the Almaty region were obtained and studied as follows: 3 background sites on the northern slopes of Ili Alatau and 5 experimental sites located in different parts of the city (Figure 1).

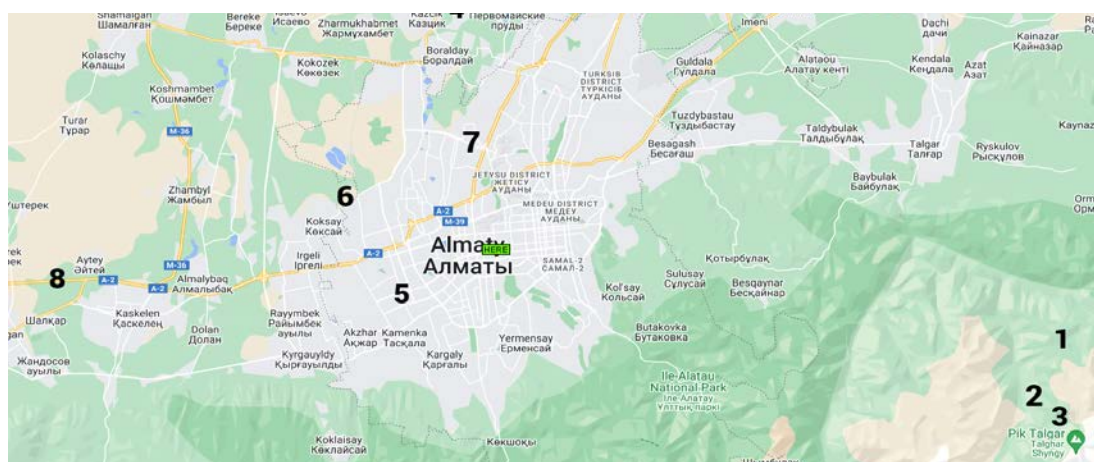


Figure 1. Location of the studied ecosystems

Note: Suburban (background) biocenoses – northern slopes of Ili Alatau: 1 – spruce forest; 2 – mixed forest; 3 – alpine meadows; Urban biocenoses – soils near petroleum storage depots, petrol stations and thermal power plants: 4 – soils near oil depots; 5 – soils near petrol stations located in different parts of the city; 6 – soils near thermal power plants; 7 – soils along city busy highways; 8 – soils along national highways.

Discussion

In the studied ecosystems of Almaty and the foothills of the Trans Ili-Alatau, we have identified representatives of the class Oligochaeta – the Lumbricidae family. Their species composition and density are shown in Table 1.

Table 1

Species composition and average abundance of soil mesofauna in suburban and urban ecosystems of Trans Ili-Alatau foothills (ex/m²)

| Types of Lumbricides | Suburban biocenoses | | | Urban biocenoses | | | | |
|--|---------------------|------|------|------------------|------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>Lumbriscus rubellus</i> (Hoffmeister, 1843) | 1,31 | 1,24 | 3,54 | 0,57 | 0,68 | 0,47 | 0,78 | + |
| <i>Aporrectodea rosea</i> (Savigni, 1826) | 0,89 | 0,84 | 1,7 | 0,36 | 0,57 | 0,26 | 0,62 | + |
| <i>Lumbricus terrestris</i> (Linnaeus, 1758) | - | 0,72 | 3,12 | 0,66 | + | 0,32 | 1,5 | - |
| <i>Eisenia fetida</i> (Savigni, 1826) | 0,62 | - | 1,32 | 0,45 | 0,92 | - | 0,72 | - |
| <i>Eisenia nordenskioldi</i> (Eisen, 1879) | 0,24 | 0,11 | - | - | - | + | - | - |
| <i>Octolasion lacteum</i> (Orley, 1885) | - | 0,84 | + | - | - | - | 1,1 | 0,7 |
| <i>Nicodrilus caliginosus</i> (Eisen, 1874) | 1,56 | 1,2 | + | 0,13 | 1,02 | + | + | + |
| <i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigni, 1826) | | | 2,02 | 0,91 | 1,14 | 0,74 | 0,5 | |

Note: Suburban (background) biocenoses - northern slopes of Ili Alatau: 1-spruce forest; 2-mixed forest; 3-alpine meadows; Urban biocenoses - soils near petroleum storage depots, petrol stations and thermal power plants: 4-soils near oil depots; 5-soils near petrol stations located in different parts of the city; 6-soils near thermal power plants; 7-soils along city busy highways; 8-soils along national highways. «+» - single instances.

Earthworms (Lumbricidae) are found in all places, in both urban and suburban biocenoses. To the present, we have registered 11 species of lumbricides in the studied soils of the region. 6 species out of them are *Aporrectodea rosea* (Savigni, 1826), *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843), *Lumbricus castaneus* (Savigni, 1826), *Octolasion lacteum* (Orley, 1885), *Dendrobaena octaedra* (Savigni, 1826) and *Aporrectodea caliginosa* (Savigni, 1826). They are widespread and ecologically plastic species that are common in forest pricing subzones of the Trans Ili-Alatau mixed forests. The largest number of Lumbricidae species noted for the fauna of the Almaty region belong to the genus *Lumbricus*. Species of this genus make up almost 30% of the lumbricidofauna of biogeocenosis: *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus* and *Lumbricus terrestris*. The most widespread species is *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843 - a small red worm. This species can reach a length of up to 50-150 mm, a width of 4-6 mm. Pigmentation on the dorsal side is purple, the anterior end of the body is especially highly pigmented, and the tail end is flattened (Vsevolodova-Perel, 1997) [17].

Lumbricus rubellus is a bedding species that prefers moist, humus-rich soil. This species was recorded by us in all studied biogeocenoses. The distribution of this species is associated with broad-leaved species. Thus, in birch and mixed forests, the share of *L. rubellus* ranged up to 30%. However, the small red worm has also been observed in agrocenoses of both suburban and urban biocenoses, where the species accounted for up to 25%. This is due to the relatively high humus content in the soils of these biogeocenoses [18]. According to the results of chemical analysis of the soil, it was revealed that the mass fraction of organic matter in these biocenoses ranged up to 7% (Figure 2).



A

B

Figure 2. Appearance of earthworms: a - *Lumbricus rubellus*, b - *Aporrectodea rosea*

The largest representative of lumbricides is *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758, which reaches a length of 90-300 mm and a width of 6-9 mm. The pigmentation is violet to girdle, lighter posteriorly with a dark middle stripe [19].

Lumbricus terrestris, or the great red worm, lives in deeper layers of soil, being an animal which lives in a burrow [20]. This species also prefers humus-rich soils [21]. *L. terrestris* was not registered by us in the birch forest and in the agrocenosis of the Karasai region. The chemical analysis of the soil makes it possible to make the following assumption: the absence of this species in these biotopes may be due to the fact that their soils have a relatively low humus content – 3.5% and humidity – up to 12% [22].

Octolasion lacteum Orley, genus Octolasion, which reaches a length of 30-180 mm and a thickness of 2-8 mm. This species has practically no pigment, although light gray specimens with a bluish tint are most often found. Feeding only on soil humus, the upper-tier cosmopolite *O. lacteum* is able to live in waterlogged soils and withstand a long period of oxygen deficiency [23]. So, in Trans Ili-Alatau, this species was recorded in a mixed forest, where soil moisture during the study period was 25%. *O. lacteum* accounted for 17% of the number of lumbricides found in this biocenosis.

Results

In natural biogeocenoses (sites 1-3), the dominant groups are earthworms (Lumbricidae), which account for up to 75%. Subdominant larvae and adult insects (Insecta) make up 30%, millipedes (Miriapoda) up to 24%, enchytraids (Enchytraeidae) – 23%, (of the total abundance of pedobionts).

In man-made territories (areas 4-8), earthworms of the Lumbricidae family accounted for up to 70%, larvae and adults of insects 23%, millipedes 20%, enchytraids 10%. In weak biocenoses located in the vicinity of the city of Almaty (plots 4, 5, 6), earthworms make up 64% of the total number of pedobionts, millipedes make up 29%, insects – 21% and enchytraids 8.5%.

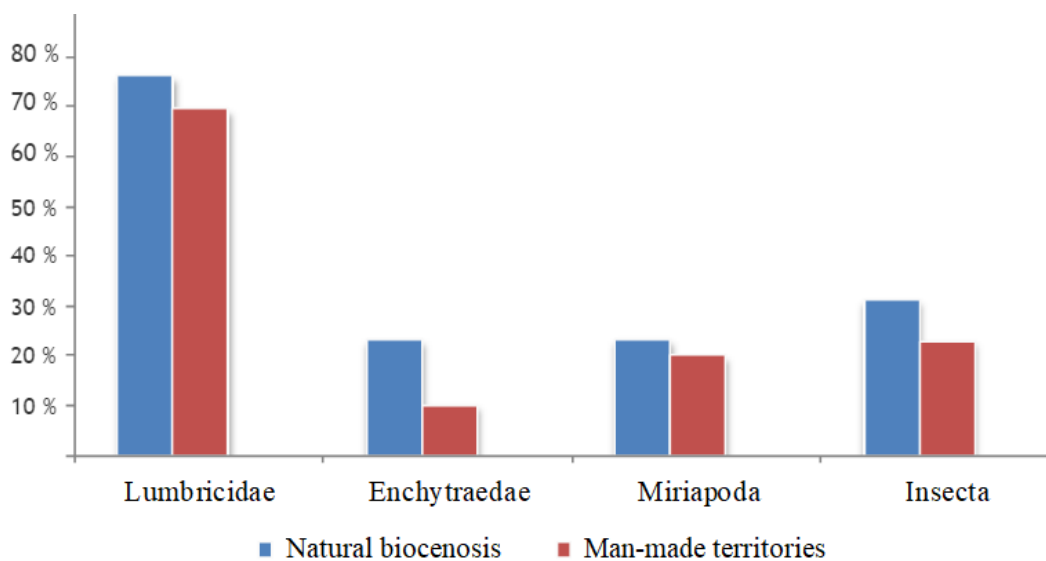


Figure 3. Occurrence of the main groups of soil mesofauna in urban and suburban biogeocenoses

Following Figure 3, you can notice a significant difference in soil mesofauna in natural and man-made biogeocenoses. But in two ecosystems, the absolute dominants are lumbricides. Earthworms, as one of the most numerous groups among other representatives of soil invertebrates, can act as an indicator of soil conditions such as humus content and soil moisture content.

Features of seasonal earthworm migrations in various biogeocenoses have been identified. The study found that in the soils of mixed forest, the seasonal fluctuations of this group of pedobionts are more smoothed than in birch or agrocenosis. However, even here, with a long absence of rain, worms left for deeper layers of soils. The change in the number of lumbricides during different periods of the growing season in birch and mixed forest is presented in Figure 4.

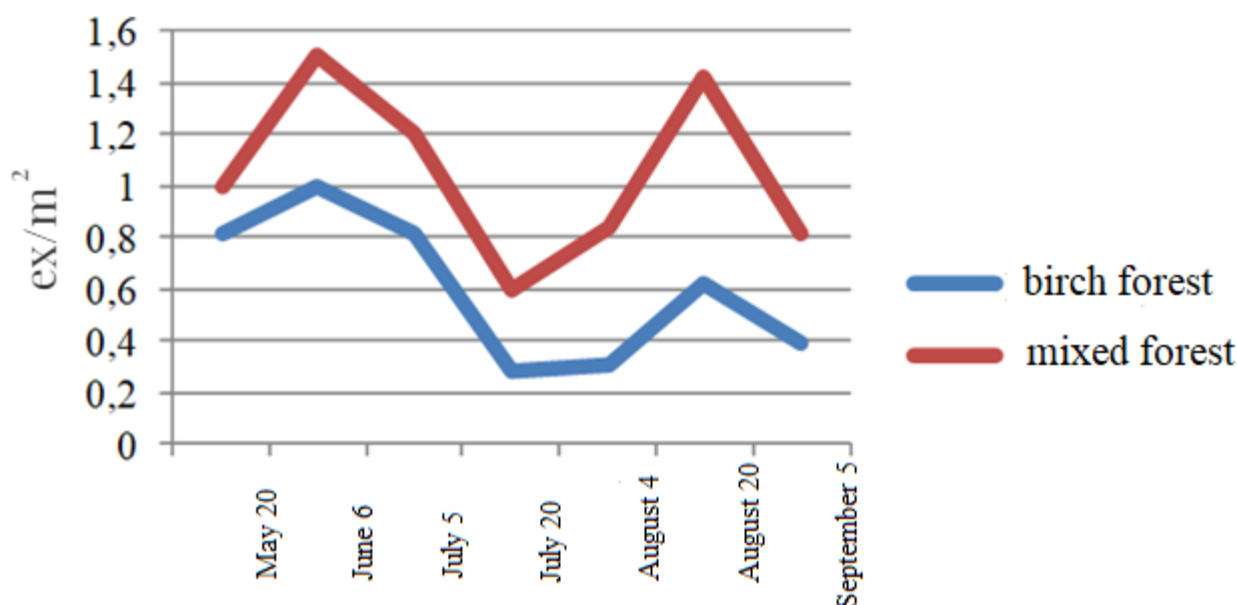


Figure 4. Seasonal ratio of the amount of soil mesofauna

The level of pedobionts activity is not regulated by the amount of litter but depends on the hydrothermal conditions of the environment, which determine, on the one hand, the level of metabolic activity and the growth rate of soil invertebrates, and on the other, the availability of the substrate. The main factors affecting the decay rate of plant litter are humidity and temperature characterized by high dynamics on the surface and relative stability in the depths of the soils [24].

Each type of soil mesofauna inhabits soils with certain amplitudes of regime fluctuations. Depending on the soil-ecological environmental conditions and the degree of anthropogenic impact, the ratio of the main trophic groups also changes. In the case of a restorative effect, the amount of organic matter decreases, the proportion of litter inhabitants and upper soil horizons in the species structure decreases.

Conclusion

As a result of soil-zoological studies, it was possible to establish the connection of the distribution of earthworms with soil-ecological conditions. The ecological and faunal characteristics of soil oligochaetes of the Lumbricidae family are presented. *A. rosea*, *L. rubellus*, *O. lacteum* are the most common. The species composition of lumbricides varies in different biotopes. In natural biogeocenoses, the number of earthworms is greater than in man-made areas. This is due to the physicochemical parameters of soils and environmental characteristics of a certain species.

While studying the seasonal dynamics of soil mesofauna, it was established that the change in the number of individual species of all identified mesofauna groups is associated with seasonal fluctuations in hydrothermal conditions and the dynamics of the arrival and decomposition of organic matter in soil ecosystems.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' contribution

B.K. Esimov, H. Koc, G. Seribekkyzy conceived and planned the experiments. B.K. Esimov, G. Seribekkyzy, R.U. Saimova and K.I. Batyrova carried out the experiments. A.M. Aitpan and G. Seribekkyzy contributed to sample preparation. G. Seribekkyzy took the lead in writing the manuscript. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript.

References

1. Ручин А.Б. Экология популяций и сообществ. – Москва: Академия, 2006. – 277 с.
2. Куровский А.В., Бабенко А.С. Биогеохимическая роль дождевых червей в почвенных экосистемах. Краткая история исследований и современные представления // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки. – 2022. – №3(140). – С. 116-129.
3. Jouquet P., Dauber J., Lagerlof J., Lavelle P., Lepage M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops // Applied Soil Ecology. – 2006. – Vol. 32(2). – P. 153-164.
4. Mazur-Paczka A., Paczka G., Kostecka J. Community structure of Lumbricidae in beech woodland of the Bieszczady National Park, Southeast Poland // Pedosphere. – 2021. – Vol. 31(3). – P. 391-397. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60090-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60090-X).
5. Amosse J., Dozsa-Farkas K., Boros G., et al. Patterns of earthworm, enchytraeid and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages // European journal of soil biology. – 2016. – Vol. 73. – P. 46-58.
6. Kokhia M., Lortkipanidze M., Gorgadze O., et al. Earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae) and heavy metals: content and bioaccumulation in the body // Journal of Agricultural Science. – 2022. – Vol. 33. – P. 95-100. DOI: <https://10.15159/jas.22.20>.

7. Ikeda H., Callaham M.A., Shefferson R.P., et al. A comparison of latitudinal species diversity patterns between riverine and terrestrial earthworms from the North American temperate zone // *Journal of Biogeography*. – 2020. – Vol. 47. – P. 1373-1382.
8. Безкоровайна И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2001. – 40 с.
9. Соколов А.А. Значение дождевых червей в почвообразовании. – Алма-Ата: АН КазССР, 1956. – 263 с.
10. Новак А.И. Биотопическое распределение дождевых червей семейства Lumbricidae в Алма-Атинской области // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2015. – № 4(32). – С. 78-83.
11. Гиляров М.С. Роль почвенных животных в разложении растительных остатков и круговороте веществ // *Итоги науки и техники. Зоология беспозвоночных*. – 1978. – Т. 5. – С. 69-71.
12. Соколова Т.Л. Диагностические возможности почвенной мезофауны // *Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова*. – 2010. – Т. 3. – С. 13-14.
13. Гиляров М.С. Зоологический метод почвенной диагностики. – Москва: Наука. – 1985. – 277 с.
14. Стриганова Б.Р. Методы фиксации, хранения и лабораторного содержания почвенных беспозвоночных // *Количественные методы в почвенной зоологии*. – 1978. – Т.5. – С. 72-88.
15. Чернов Ю.И. Основные синэкологические характеристики почвенных беспозвоночных и методы их анализа / Под ред. М.С. Гилярова. – Москва: Наука, 1975. – С. 198-213.
16. Рапопорт И.Б. Дождевые черви (Oligochaeta, Lumbricidae) как компонент устойчивости агроценозов в горных районах // *Материалы международной конференции: Устойчивое развитие горных территорий*. – Владикавказ, 2004. – С. 501-503.
17. Сергеева Е.В. Трофическая структура почвенной мезофауны в сообществах южной тайги Западной Сибири // *Научный вестник Белорусского государственного университета. Серия Естественные науки*. – 2016. – №11(232). – С. 41-48.
18. Iordache M., Tudor C., Brei L. Earthworms diversity (Oligochaeta: Lumbricidae) and casting chemical composition in an urban park from Western Romania // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2021. – Vol. 30(1). – P. 645-654. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/123187>.
19. Klein A., Eisenhauer N., Schaefer I. Invasive lumbricid earthworms in North America – different life-histories but common dispersal? // *Journal of Biogeography*. – 2020. – Vol. 47(3). – P. 674-685. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13744>.
20. Seribekkyzy G., Saimova R.U., Saidakhmetova A.K., et al. Heavy metal effects on earthworms in different ecosystems // *Journal of animal behavior and biometeorology*. – 2022. – Vol. 10(3), 2228. DOI: <https://doi.org/10.31893/jabb.22028>.
21. Sekulic J.M., Milenkovic S.N., Stojanovic M.M., et al. Species richness and community structure of earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae) in natural and agricultural ecosystems // *Biologia*. – 2022. – Vol. 77. – P. 2115-2124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01077-9>.
22. Misirlioglu I.M., Tsekova R., Stojanovic M. On the presence of *Lumbricus terrestris* Linnaeus 1758 (Oligochaeta, Lumbricidae) on the Balkan Peninsula: some aspects of ecology and distribution // *Turkish Journal of Zoology*. – 2016. – Vol. 40. – P. 438-444. DOI: <https://doi.org/10.3906/zoo-1509-12>.

23. Newbold L.K., Robinson A., Rasnaca I. Genetic, epigenetic and microbiome characterisation of an earthworm species (*Octolasion lacteum*) along a radiation exposure gradient at Chernobyl // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 255(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113238>.

24. Kolesnikova, A.A., Taskaeva, A.A., Lapteva, E.M., et al. Vertical distribution of collembola, lumbricidae and elateridae in alluvial soils of floodplain forests // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2013. – Vol. 6. – P. 34-42. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425513010083>.

Г. Серибекқызы¹, К.И. Батырова¹, Б.К. Есимов¹, Р.У. Саимова¹, Ә.М. Айтпан², Х. Коч³

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қазақстан-Ресей медициналық университеті, Алматы, Қазақстан

³Мугла университеті, Мугла, Түркия

Табиғи биогеоценоздар мен техногендік аумақтардағы Lumbricidae түрлік құрамына экологиялық-фауналық талдау

Аңдатпа. Жауын құрттары топырақ мезофаунасының негізгі бөлігін құрайды және органикалық заттардың өзгеруінде, педосфераның қалыптасуында, экожүйелердегі зат, энергия және ақпарат ағындарын реттеуде маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеу жұмысында Іле Алатауының тау бөктеріндегі қалалық және қала маңындағы экожүйелердегі жауын құрттарының түрлік құрамы зерттелді. Жұмыс нәтижесінде Oligochaeta класындағы Lumbricidae тұқымдасының 11 түрі анықталды. Республикамызда олардың 6 түрі: *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Octolasion lacteum*, *Dendrobaena octaedra* және *Aporrectodea caliginosa* кең таралған. *Lumbricus* тұқымдасы зерттелген аумақтардағы даралар саны бойынша ең көп таралған. Техногендік және табиғи биогеоценоздарда жауын құрттарының түрлік құрамының айтарлықтай айырмашылықтары анықталды. Бірақ, екі экожүйеде де абсолютті доминанттар люмбрицидтер болып табылады. Жауын құрттарының түрлік құрамымен қатар, маусымдық динамикасы да зерттелді, олардың максималды белсенділігі температура мен ылғалдылықтың ең қолайлы арақатынасында байқалды.

Түйін сөздер: жауын құрттары, экологиялық-фауналық талдау, түрлік құрам, маусымдық динамика, Іле Алатауы.

Г. Серибекқызы¹, К.И. Батырова¹, Б.К. Есимов¹, Р.У. Саимова¹, А.М. Айтпан², Х. Коч³

¹Қазақстанның национальнй педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

²Қазақстанско-Российский медицинский университет, Алматы, Казахстан

³Университет Мугла, Мугла, Турция

Эколого-фаунистический анализ видового состава Lumbricidae естественных биогеоценозов и техногенных территорий

Аннотация. Дождевые черви составляют основную часть почвенной мезофауны и играют важную роль в трансформации органического вещества, формировании педосферы, регулировании потоков вещества, энергии и информации в экосистемах. В данном

исследовании мы изучили видовой состав дождевых червей в городских и пригородных экосистемах предгорий Заилийского Алатау. В результате работы было обнаружено 11 видов семейства Lumbricidae класса Oligochaeta. Из них 6 видов: *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Octolasion lacteum*, *Dendrobaena octaedra* и *Aporrectodea caliginosa* являются широко распространенными в нашей республике. Род *Lumbricus* является наиболее распространенным по количеству особей в исследованных территориях. Установлены значительные отличия видового состава дождевых червей в техногенных и естественных биогеоценозах. Но и в двух экосистемах абсолютными доминантами являются люмбрициды. Наряду с видовым составом дождевых червей изучалась и сезонная динамика, было установлено, что их максимальная активность наблюдается при наиболее благоприятном соотношении температуры и влажности.

Ключевые слова: дождевые черви, эколого-фаунистический анализ, видовой состав, сезонная динамика, Заилийский Алатау.

References

1. Ruchin A.B. *Ekologiya populyacij i soobshchestv* [Ecology of populations and communities] (Moskva, Akademiya [Moscow, Academy], 2006, 277 p.). [in Russian]
2. Kurovskij A.V., Babenko A.S. *Biogeoхимическая роль дождевых червей в почвенных экосистемах. Краткая история исследований и современные представления* [The biogeochemical role of earthworms in soil ecosystems. A brief history of research and current views], *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya Biologicheskie nauki* [Bulletin of the Eurasian national university named after L.N. Gumilev. Biological sciences series], 3 (140), 116-129 (2022). [in Russian]
3. Jouquet P., Dauber J., Lagerlof J., Lavelle P., Lepage M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops, *Applied Soil Ecology*, 32 (2), 153-164 (2006).
4. Mazur-Paczka A., Paczka G., Kostecka J. Community structure of Lumbricidae in beech woodland of the Bieszczady National Park, Southeast Poland, *Pedosphere*, 31(3), 391-397 (2021). DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60090-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60090-X).
5. Amosse J., Dozsa-Farkas K., Boros G., et al. Patterns of earthworm, enchytraeid and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages, *European journal of soil biology*, 73, 46-58 (2016).
6. Kokhia M., Lortkipanidze M., Gorgadze O., et al. Earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae) and heavy metals: content and bioaccumulation in the body, *Journal of Agricultural Science*, 33, 95-100 (2022). DOI: <https://10.15159/jas.22.20>.
7. Ikeda H., Callahan M.A., Shefferson R.P., et al. A comparison of latitudinal species diversity patterns between riverine and terrestrial earthworms from the North American temperate zone, *Journal of Biogeography*, 47, 1373-1382 (2020).
8. Bezkorovajnaya I.N. *Biologическая диагностика и индикация почв* [Biological diagnostics and indication of soils], (Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet [Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University], 2001, 40 p.). [in Russian]
9. Sokolov A.A. *Znachenie dozhdevykh chervej v pochvoobrazovanii* [Importance of earthworms in soil formation] (Alma-Ata: AN KazSSR [Alma-Ata: Academy of sciences of the Kazakh SSR], 1956, 263 p.). [in Russian]

10. Novak A.I. Biotopicheskoe raspredelenie dozhdevykh chervej semejstva Lumbricidae v Alma-Atinskoy oblasti [Biotopic distribution of earthworms of the family Lumbricidae in the Alma-Ata region], Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy], 4(32), 78-83 (2015). [in Russian]

11. Gilyarov M.S. Rol' pochvennykh zhivotnykh v razlozhenii rastitel'nykh ostatkov i krugovorote veshchestv [The role of soil animals in the decomposition of plant residues and the circulation of substances], Itogi nauki i tekhniki. Zoologiya bespozvonochnykh [The results of science and technology. Zoology of invertebrates], 5, P. 69-71 (1978) [in Russian]

12. Sokolova T.L. Diagnosticheskie vozmozhnosti pochvennoj mezofauny [Diagnostic capabilities of the soil mesofauna], Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova [Bulletin of the Kostroma state university named after N.A. Nekrasov], 3, 13-14 (2010). [in Russian]

13. Gilyarov M.S. Zoologicheskij metod pochvennoj diagnostiki [Zoological method of soil diagnostics] (Moskva, Nauka [Moscow: Science], 1985, 277 p.). [in Russian]

14. Striganova B.R. Metody fiksacii, hraneniya i laboratornogo soderzhaniya pochvennykh bespozvonochnykh [Methods of fixation, storage and laboratory maintenance of soil invertebrates], Kolichestvennye metody v pochvennoj zoologii [Quantitative methods in soil zoology], 72-88 (1978). [in Russian]

15. Chernov Yu.I. Osnovnye sinekologicheskie karakteristiki pochvennykh bespozvonochnykh i metody ih analiza [The main synecological characteristics of soil invertebrates and methods of their analysis], Pod red. M.S. Gilyarova [Edited by M.S. Gilyarov] (Moskva, Nauka [Moscow: Science], 1975, 198-213 p.). [in Russian]

16. Rapoport I.B. Dozhdevnye chervi (Oligochaeta, Lumbricidae) kak komponent ustojchivosti agrocenozov v gornyx rajonah [Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) as a component of the sustainability of agrocenoses in mountainous areas], Materialy mezhdunarodnoj konferencii: Ustojchivoe razvitie gornyx territorij [Materials of the international conference: Sustainable development of mountain territories], Vladikavkaz, 501-503 (2004). [in Russian]

17. Sergeeva E.V. Troficheskaya struktura pochvennoj mezofauny v soobshchestvah yuzhnoj tajgi Zapadnoj Sibiri [Trophic structure of the soil mesofauna in the communities of the southern taiga of Western Siberia], Nauchnyj vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki [Scientific bulletin of the Belarusian state university. Natural sciences series], 11(232), 41-48 (2016). [in Russian]

18. Iordache M., Tudor C., Brei L. Earthworms diversity (Oligochaeta: Lumbricidae) and casting chemical composition in an urban park from Western Romania, Polish Journal of Environmental Studies, 30(1), 645-654 (2021). DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/123187>.

19. Klein A., Eisenhauer N., Schaefer I. Invasive lumbricid earthworms in North America – different life-histories but common dispersal? Journal of Biogeography, 47(3), 674-685 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13744>.

20. Seribekkyzy G., Saimova R.U., Saidakhmetova A.K., et al. Heavy metal effects on earthworms in different ecosystems, Journal of animal behavior and biometeorology, 10 (3), 2228 (2022). DOI: <https://doi.org/10.31893/jabb.22028>.

21. Sekulic J.M., Milenkovic S.N., Stojanovic M.M., et al. Species richness and community structure of earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae) in natural and agricultural ecosystems, Biologia, 77, 2115-2124 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01077-9>.

22. Misirlioglu I.M., Tsekova R., Stojanovic M. On the presence of *Lumbricus terrestris* Linnaeus 1758 (Oligochaeta, Lumbricidae) on the Balkan Peninsula: some aspects of ecology and distribution, *Turkish Journal of Zoology*, 40, 438-444 (2016). DOI: <https://doi.org/10.3906/zoo-1509-12>.

23. Newbold L.K., Robinson A., Rasnaca I. Genetic, epigenetic and microbiome characterisation of an earthworm species (*Octolasion lacteum*) along a radiation exposure gradient at Chernobyl, *Environmental Pollution*, 255(1) (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113238>.

24. Kolesnikova, A.A., Taskaeva, A.A., Lapteva, E.M., et al. Vertical distribution of collembola, lumbricidae and elateridae in alluvial soils of floodplain forests, *Contemporary Problems of Ecology*, 6, 34-42 (2013). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425513010083>.

Information about authors:

Seribekkyzy G. – corresponding author, doctoral student, Abai Kazakh National Pedagogical University, 13 Dostyk Avenue, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Batyrova K.I. – candidate of biological sciences, Associate Professor, Abai Kazakh national pedagogical university, 13 Dostyk Avenue, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Esimov B.K. – doctor of biological sciences, Associate Professor, Abai Kazakh national pedagogical university, 13 Dostyk Avenue, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Saimova R.U. – PhD in biology, senior lecturer, Abai Kazakh national pedagogical university, Dostyk Avenue, 13, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Aitpan A.M. – senior lecturer, Kazakh-Russian medical university, Abylaykhan 53/51, 50004, Almaty, Kazakhstan.

Koc H. – doctor of biology, Professor, Kotekli locality, 48000, Mugla university, Mugla, Turkey.

Серібекқызы Г. – хабар алмасу үшін автор, докторант, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы, 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Батырова К.И. – биология ғылымдарының докторы, доцент, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы, 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Есимов Б.К. – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы, 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Саимова Р.У. – PhD доктор, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы, 13, 050010, Алматы, Қазақстан

Айтпан Ә.М. – аға оқытушы, Қазақстан-Ресей медициналық университеті, Абылайхан 53/51, 50004, Алматы, Қазақстан.

Коч Х. – биология докторы, профессор, Кетекли елді мекені, 48000, Мугла университеті, Мугла, Түркия.



ХҒТАР 34.29.35

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-20-38>

Шолу мақаласы

Ақтөбе флористикалық округі флорасының қалыптасу тарихы мәселесі

С.А. Айпеисова¹ , Н.А. Утарбаева*² , Е.Т. Казкеев² 

¹Баишев университеті, Ақтөбе, Қазақстан

²К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: Nurlygul.utarbaeva@mail.ru

Аңдатпа. Флораның пайда болуы мен қалыптасу тарихы туралы мәселе ботаникалық – географиялық зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Бұл мәселені шешу тек палеоботаника, палеогеография, палеогеология, фитостратиграфия, палеоклиматология, палеонтология материалдарының негізінде, сондай-ақ флора өсімдіктерінің реликті түрлерін анықтау және зерттеу арқылы мүмкін болады.

Жұмыстың мақсаты-Ақтөбе флористикалық округі флорасы генезисінің негізгі кезеңдерін қарастыру. Мәселенің өзектілігі флорогенез бен фитоценогенездің теориялық мәселелерін әзірлеу қажеттілігіне және олардың белгілі бір аймақтық материалда көрінуіне байланысты.

Жұмыс флора генезисі, геоморфология және климатология бойынша әдеби мәліметтер негізінде, сондай-ақ маршруттық әдіспен жиналған көпжылдық гербарий материалдары негізінде орындалды.

Зерттеу аймағының реликті түрлерінің ауқымын талдау флораның Еуропаның орманды, орманды-дала, дала аймақтарымен, Сібірмен, Тұран шөлдерімен, таулы Орта Азиямен айқын байланыстарын, сондай-ақ Кавказ, Жерорта теңізі арқылы белгілі бір байланыстардың болуын көрсетеді және дала табиғатының екі жақтылығын тағы бір рет растайды: бір жағынан арктикалық, ал екінші жағынан ежелгі Жерорта теңізінен дала табиғатының қосарланып көрінуі. Палеоботаника, палеогеография, палеогеология, фитостратиграфия, палеоклиматология және реликтілерді талдау бойынша материалдарды зерттеу Ақтөбе флористикалық ауданының флорогенез процесінің күрделілігі мен гетерогенділігі мен гетерохрондылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: Флораның шығу тегі, тарихы, ботаникалық-географиялық зерттеулер, реликті түрлері, географиялық ареал, геоморфология, флорогенез.

Кіріспе

Флораның пайда болуы мен қалыптасу тарихы туралы мәселе ботаникалық – географиялық зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Бұл мәселені шешу тек палеоботаника, палеогеография, палеогеология, фитостратиграфия, палеоклиматология, палеонтология материалдарының негізінде, сондай-ақ флора өсімдіктерінің реликті түрлерін анықтау және зерттеу арқылы мүмкін болады.

Мәселенің өзектілігі флорогенез мен фитоценогенездің теориялық мәселелерін әзірлеу қажеттілігіне және олардың белгілі бір аймақтық материалда көрінуіне байланысты.

Бұл тұрғыда Қазақстанның солтүстік-батыс бөлігінде 51°30' ш. б. - 61°30' ш.б. (еңдік бойынша ұзындығы 10°) және 51°45' с.е. - 47°30' с.е. (бойлық бойынша ұзындығы 4°15' тең) арасында, дала аймағында орналасқан Ақтөбе флористикалық округі ерекше қызығушылық тудырады.

Округ Ақтөбе облысының едәуір бөлігін алып жатыр - аумағында бірегей дала қауымдастықтары, бор алқаптары, реликті орман және батпақты шатқалдар сақталған Қазақстанның аса маңызды индустриалды облыстарының бірі, өсімдіктер дүниесін қорғауды қажет етеді.

Жұмыстың мақсаты - Ақтөбе флористикалық округінің флорасы генезисінің негізгі кезеңдерін қарастыру.

Зерттеу әдістері

Жұмыс флора генезисі, геоморфология және климатология бойынша әдеби мәліметтер негізінде, сондай-ақ маршруттық әдіспен жиналған көпжылдық гербарий материалдары негізінде орындалды.

Флораның қалыптасу тарихын талдау кезінде Камелиннің [1] флорогенетикалық әдісі, М.Г. Поповтың [2], А.Н. Криштофовичтің [3], И.М. Крашенинниковтың [4], В.А. Вахрамеевтің [5], Л.Ю. Буданцевтің [6], С.Г. Жилиннің [7], В.С. Корнилованың [8], Г.И. Дохманның [9], П.И. Дорофееваның [10], Г.А. Пешкованың [11], Б.А. Быкованың [12] және басқа да еңбектерде баяндалған флорогенетикалық және филоценогенетикалық тәсілдер қолданылды. Флораның ареалдар типін анықтауда хориономиялық тәсіл пайдаланылды [13]. Ареалдар типі Е.М. Лавренко [14-15], А.А. Тахтаджянмен [16] ұсынылған ареалдың барлық немесе бір бөлігінің фитохориондарға жатуы бойынша анықталды. Реликт түр Е.В. Вульф [17] көлемінде қабылданды. Реликттің жасы түрдің флора құрамына ену уақытымен анықталады.

Талқылау

Белгілі бір аймақ флорасының қазіргі құрамы флораның ұзақ тарихи дамуының нәтижесі болып табылады. В.Л. Комаров атап өткендей [18; 47б.], флора элементтері үнемі тарихи география факторларына қатаң түрде тәуелді.

М.Г. Поповтың [2; 8б.] «Қиыр Шығыс флорасының Еуропалық флорамен салыстырғандағы ерекшеліктері» атты еңбегінде Қиыр Шығыста Арктика мен тайга флорасының оңтүстікке, пребореальға қабаттасуы таң қалдырады және мұны тек флорогенетикалық тұрғыдан түсіндіруге болады. Ол «бізді қызықтыратын құбылыстарда басты рөлді өзекті емес, тарихи себептер алады», - деп жазған.

Қырғыз өлкесінің өсімдік жамылғысын сипаттаған кезде И.М. Крашенинников те [4] оның геологиясын анықтауды үштік кезеңнің ортасынан бастайды.

Зерттеушінің айтуынша, девон кезеңінде пайда болған әлсіз тау-кен процестері, девон және көмір теңіздерінің шегінуіне әкеліп, пермь дәуірінде өзінің негізгі ерекшеліктерінде дамыған үлкен тау (Орал-Гиссар) жүйесінің пайда болуына әкелді.

Оның массиві Сібірге терең енетін Ангар континентінің оңтүстік-батыс бөлігі болып шықты. Ол былай деп жазады: «біздің ежелгі таулы елдің аянышты қирандылары бар облысымыз үшін (яғни, Қырғыз Республикасы) бір бағытта Орал Мұғалжар меридиалды жотасы, Ұлытау, Көкшетау, Баянауыл, Қарқаралы таулары төменгі кеңістіктер арасында шашыраңқы және қатпарлармен қиылысатын аудандармен сәйкестік тән (ендік Алтай-Тяньшань және меридиалды Орал)» [4; 4б.].

S.V. Pоров, M.A. Akhmetiev, E.M. Bugrova және т.б. [19] айтуынша, климаттың ең қарқынды планеталық өзгерістері кеш эоценнің соңында және эоцен мен олигоцен шекарасында, соның ішінде жаһандық регрессияда болды. Бұл регрессия Солтүстік жарты шардың ішкі бассейндерінен теңіз суларының кетуімен – Батыс Сібір теңізі мен Торғай бұғазының құрғауымен қатар жүрді.

Эоценде теңіз негізінен елдің батыс жартысын алып, Арал өңіріне өтіп, Торғай (Ұлы-Тау мен Мұғалжар арасында) бұғазы арқылы шегініп, қазіргі Батыс Сібір ойпатының батып бара жатқан аймағына дейін созылды. Торғай бұғазы мен Батыс Сібір теңізі, Л.Ю. Буданцев [6; 26б.] атап өткендей, абсолютті тереңдіктер мен конфигурацияларды өзгертті және Орталық пен Шығыс Сібірдің континентальды аймақтарынан батысқа қарай ерте кайнофитті қоңыржай флораның қоныстануына айтарлықтай кедергі болды. И.В. Васильевтің [20], В.А. Броневааның [21], Л.Ю. Буданцеваның [6; 111б.] пікірлері бойынша солтүстік Азияның батысында су тосқауылының болуы палеогеннің соңғы ғасырларына дейін байқалды. Ежелгі құрлықтың теңіз деңгейінен көтерілген жоғары бөліктерінен құрылған бор аралдары құрлық флорасы дами алатын табиғи орындарды дамытты. Бұған дәлел сол кезде ең жақын жағалау аймағы болған Мұғалжарларға жақын маңдағы Ембі өзенінің саласы болып табылатын Кульденен-Темір өзенінің өсінділерінен қазбалы жоғарғы бор флорасының табылуы.

Осы жаңалықтың авторы А.Н. Криштофовичтің өзі жазғандай [3; 603б.]: «мен ерекше маңызды фактіні атап өтуге мүмкіндігім бар: бор шөгінділерінде қосжарнақты өсімдіктердің басым жаңа типтегі флора қалдықтарының болуы, бірінші рет Ресейдің бүкіл кеңістігінде байқалады». Кульденен-Темір өзенінен А.Н. Винокуровтың коллекциясынан Криштофович мыналарды анықтады: *Belemvitella mucronata* или *praeceosor*, *Avicula tenuicostata*, *Geryphae vesiailaris*, *Pelecypoda*, *Brachiopoda*, *Gastropoda*, *Spongia*, *Asplenium dicksonianum*, *Pinacla sp.*, *Platanus Clinitziana* және т.б.

Кульденен – Темір флорасының жасын А.Н.Криштофович ценомандық деп анықтады. А.В.Вахрамеев [5; 67б.] қазба флорасының бұл орнын жоғарғы альбаға жатқызды. Т.Н.Байковская [22] оны ценоманға жатқызады және А.Н.Криштофовичтің геологиялық тұрғыдан белгілеген Кульденен-Темірдің жасы нақты негізделген деп санайды. Л.Ю.Буданцев [6; 10б.] Кульденен – Темір флорасындағы папоротниктердің, гимноспермдердің және гүлдердің арақатынасы бойынша ол ерте кайнофитке жатуы мүмкін деп санайды. П.В.Шилин [23; 54б.] Кульденен-Темір өзенінің флорасындағы папоротниктердің жартысынан көбі (11-ден 6-сы), сондай-ақ саговниктер мен беннеттиттер тек батыстағы бір кеш альбск-сеномандық флорасында ғана белгілі екенін атап өтті. Гинкголардың тек бір түрі ғана Көкпектісайда (Батыс Қазақстан) байқалды.

В.А. Вахрамеев [24, 5;25б.] Оңтүстік Орал, Мұғалжар, Ойыл өзені бассейнінің бор флорасын зерттеді. Оңтүстік Ембі аймағында, Сағыз және Ойыл өзендерінің бассейндерінде ол жоғарғы альба шөгінділерін атап өтеді. Осылайша, Теректісайдан ол 25 түрді анықтаған (оның ішінде папоротниктің 2 түрі, олардың біреуі *Cladphlebis frigida*, төртеуі – *Sequoia heterophylla* және *S.obovata* бар қылқан жапырақты өсімдіктер, шынарлар мен жабық тұқымдылар).

Зерттеуші сондай-ақ Қазақстанның ең көне ортаальб – Чушкакульская флорасын сипаттады. В.А. Вахрамеевтің өзі жазғанындай [24; 63б.]: «1945 жылдың жазында мен Мұғалжар жотасының оңтүстік жалғасында орналасқан Чушкакуль антиклиналінің қол жетпейтін аймағына қайта барып, Қызылшен шоқыларында қазба флорасының жаңа ауқымды коллекцияларын қолға алдым. Чушкакуль флорасының құрамында папоротниктердің 18 түрі (*Asplenium*, *Hypnophyllites*, *Weicheselia* және т.б.), беннеттиттілердің 2 түрі, гинкганың 1 түрі, қылқан жапырақтылардың 3 түрі мен жабық тұқымдылар бар.

Батыс Мұғалжар орталық альба, Чушкакуль антиклиналы және Құланды түбегінің (Қызылшенская свита) бор флорасында *Hausmannia aff. dichotoma*, *Gleichenia comptoniaefolia*, *G. cycadina G. cf. delicatula*, *G. kazachstanica*, *G. rotula*, *G. zippei*, *Hymenophyllites macrosporangiatum*, *Adiantopteris prigorovskii*, *Asplenium dicksonianum*, *Matonidium goeppertii*, *Ginkgo cf. pluripartita*, *Cyparissidium gracile*, *Elatides sp.*, *Sequoia sp.* т.б. табылды. Автордың өзі атап өткендей: «бұл флора папоротниктерге бай және цикадофиттер мен гинкголарға кедей. Папоротниктердің құрамы бойынша ол Орыс платформасы мен Закавказьенің апттық флораларына жақын» [25; 270 б.].

В.А. Вахрамеев [24; 64-65 б.] «Батыс Қазақстандағы төменгі борлы жабық тұқымдылардың табылуы» атты еңбегінде «солтүстік-батыста, Ембі өзенінің жоғарғы ағысындағы бассейнде (Кульденен-темір және Теректі-сай өзендері) альб шөгінділерінің жоғарғы бөлігінде ежелгі Чушкакуль кешенінен құрамы жағынан күрт ерекшеленетін кең жапырақты қазба флорасының бай коллекциясын жасауға мүмкіндік туды. Шынарлармен қатар: *Aralia*, *Cissites*, *Credneria*, *Dalbergites*, *Magnolia*, *Myrica*, *Menispermites* және т.б. іздері табылды.

П.В.Шилин [23; 75 б.] тек Еуропада ғана таралған шынарлардың көптігін кеш альба-сеноман және туронның қазақстандық флорасының ерекшеліктерінің бірі екендігін атап өтті.

Сонымен қатар, П.В.Шилиннің пікірінше [26-27] Қазақстанның кеш бор флорасы еуропалық сияқты субтропиктік болды және Күльденен-Темірдің ертерек кезеңі – Қызылжарда дамыды.

Авторлардың субтропиктік климат жағдайында Қазақстанның кеш бор флорасының дамуы және аридтіліктің күшеюі туралы тұжырымдары палеогеография деректерімен де расталады. В.М.Синицын [28] бойынша, орта және оңтүстік-шығыс Еуропа, Арал және Тұран аумағында альб күшті гумидтік фазасынан кейін климат құрғап кеткен. Кеш бор дәуірінің соңына қарай аридация күшейіп, сантондағы ең жоғары деңгейге жетті.

Бір-біріне жақын орналасқан Қазақстанның Күльденен-Темір және Теректі-Сай флоралары үшін есептелген климаттық параметрлерді салыстыру осы аймақтағы климаттың кеш альбтан сеноманға қарай жылынуы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді: орташа жылдық температура 5°C-қа, ал ең суық айдың температурасы 7,5°C-қа өсті. Бұл деректер В.А.Вахрамеевтің [25; 146.] *Classopollis* тозаңының таралуына негізделген Орталық Азия мен Оңтүстік Қазақстанда көрсетілген уақыт аралығындағы жылыну туралы тұжырымымен жақсы сәйкес келеді [29].

Сонымен, В.А.Вахрамеев [25; 78б.] екінші кезеңнің басында (кеш юра – ерте бор) климаттық жағдайдың өзгеруі Оңтүстік Еуропаның, Кавказдың, Қазақстанның, Кіші, Орта және Орталық Азияның барлық дерлік аумағын қамтыған айқын құрғақ белдеудің пайда болуымен көрінгенін атап өтті.

Ерте бордың екінші жартысында (апт-альб) құрғақ белдеу аймағы айтарлықтай қысқарып, Қазақстан мен Сібірдің оңтүстігінің аумағын босатады, бұл апт-альб бөлігінде бокситтер мен көмір саздарының қабаттары бар иллювиалды және көлден шыққан жыныстардың пайда болуымен көрінеді [25; 264-265б.].

М.А.Ахметьевтің [30] мәліметтері бойынша палеоцен дәуірінде зерттелетін аймақ солтүстік жарты шардың ылғалды субтропикалық және паратропикалық климат аймағында орналасқан.

Оңтүстік Орал мен Батыс Қазақстанда осы типтегі флоралардың (Романколь и Тыкбутак) кем дегенде тағы екі бай орны бар.

А.А.Петренко Романкуль шатқалындағы Орь өзенінің сол жағалауында (Ақтөбе облысы Батамша ауылы) А.Н.Криштофовичпен анықталған *Dryandra Schrankii*, *Dewalquea grandifolia*, *Magnolia sp* [31] түрлерінің іздерін тапты.

Кейінірек В.И.Баранов Романкуль кешенінің келесі құрамын анықтады: *Dewalquea gelindenensis*, *Aralia cf. venulosa*, *Cornus cf. sezanensis*, *Grewiopsis uralensis*, *Daphnogene Vasilevskajae*, *D. gigas*, *D. crassifolia*, *Cornus Janschinii*, *C. Baranovii*, *C. angusta*, *Ficus uralica* және т. б. 1951 жылы В.И.Баранов Романкульдің флораның қазбалық үлгілерінде *Viburnum giganteum var. uralensis* түрінің үлкен жапырақты екенін көрсетті. Негізгі ерекшеліктері Камышин флорасына ұқсас болды. В.И.Баранов бұл флораның жасын палеоценмен анықтады [32].

Т.Н.Байковская [33] Романколь өсімдік кешені 48 өсімдіктен тұратын глауконитті құмтастардың өсінділерінен алынғанын айтады (жоғары палеоцендік флора).

В.И.Баранов [34] Мұғалжардың батыс беткейінде Г.С.Трошин кварц-глауконит құмтастарында жиналған үлгілер жинағында *Fagus deucalionis*, *Quercus kamyschinensis*,

Q. odontiphylla, *Q. diplodon*, *Q. cf. platania*, *Q. sp.*, *Ficus Gordijagini*, *Dryandra karahulensis*, *Viburnum giganteum* іздері табылды. Бұл формациядан қазба флорасының құрамына Еділ бойындағы палеоценге емен жатады, онымен бірге Оңтүстік Оралдың қатты жапырақты эоцен кешеніне жақын бірнеше өсімдіктер кіреді. Коллекцияда *Rhus turcomanica* үлгілерінің болуы бұл Мугоджар флорасын Ер-Ойлан-Дуз көлі (Түрікменстан) аймағындағы эоцен флорасымен жақындастырады.

Г.И. Дохман [9; 56б.] атап өткендей, Мұғалжар таулары төменгі үштік кезеңге дейін қазақтың ұсақ шоқыларымен байланысқан ежелгі құрылыс болып табылады.

М.А.Ахметьев [30; 51б., 35] және Н.М.Мақұлбеков [36] бойынша ерте эоценде паратропикалық климаттың даму аймағы Мұғалжар маңы (Қаракөл және Сарколь флорасы), Батыс Қазақстан (Асқабұтақ), Солтүстік Қазақстан (Екібастұз) және Зайсан ойпаты (Кирши және Чакелмес) үшін белгіленген. Бұл жерлердің флорасы кеш палеоцен өсімдіктерімен салыстырғанда ұсақ жапырақты, ксероморфты келбетке ие, бұл олардың пікірінше, климаттың маусымдылығымен байланысты. Оларға *Myricaceae* и *Ericaceae* және *Ushia* өкілдері жатады. Н.М.Мақұлбеков, М.А.Ахметьев [30; 42б.] атап өткендей [36-37], орта эоцен флорасы (Оңтүстік Орал бақтары, Павлодар Ертіс өңірінің ерте небартон флоралары) ксероморфтылығымен, ұсақ жапырақтылығымен және қаттылығымен ерекшеленеді.

Негізгі орман құраушы компоненттер-лавр тәрізділер, шамшаттылар және көкбұталылар, ал қылқан жапырақты ағаштардан – долиостробус және секвойя.

Эоценнің екінші жартысында климаттың едәуір аридациясы байқалады, ол осы дәуірдің соңында ең жоғары деңгейге жетті. Эоцен – ең жылы дәуір. Осы уақытта қоңыржай ормандар аймағы солтүстікке қарай 50-600 с.е. орын ауыстыру соның дәлелі. Оңтүстік Оралда және Батыс Қазақстанда құрамына пальмалар кіретін жер асты столонды жапырақ тастайтын шынар ормандары жіңішке жапырақты субтропикалық эоцен өсімдіктерімен алмастырылуы мүмкін [38, 39].

Климаттың максималды аридациясын көрсететін флоралар Украинада, Оңтүстік Оралда және Ертіс өңірінде белгілі [40].

Орал мен Қазақстанның батыс аудандарын В.А.Вахрамеев [41] Сібір облысының Орал провинциясына жатқызады, оған ол орыс платформасының солтүстік және орталық бөліктерін де қосады. Зерттелетін аумақтың палинофлорасы туралы соңғы мәліметтердің болмауына байланысты оңтүстік еуропалық Ресейдің (орыс платформасының аумағы) деректеріне тоқталуға болады. Орта эоценнің Воронеж антеклизасының оңтүстік-шығыс беткейіндегі палинофлораның таксономиялық құрамы В.Г. Шпуль мәліметтері бойынша [42] жазы ыстық және құрғақ субтропикалық климаттың, оның климаттық оптимумының, жапырақты, субтропиктік, тропикалық, мәңгі жасыл ормандардың «волындық-полтавалық» экологиялық типтегі флорасы бар екендігін көрсетеді.

Олигоценнен бастап Торғай флорасы деп аталатын өкілдер Полтава флорасын алмастырады.

Олигоценнен С.Г. Жилин [7; 45б.], Л.Ю.Буданцевке дейін [6; 47б.] солтүстік жарты шарда қоңыржай флораның кеш кайнофитті кезеңі басталды, олигоценде – миоцендегі

осы типтегі флоралардың көпшілігі сияқты жүйелі құрамды түбегейлі қайта құрудан өтті, яғни, жоғары сатыдағы өсімдіктер үстемдікке ие болды.

Орта олигоценнің басында жапырақты флора Қазақстанның барлық кеңістігінде басым болады, ал Полтава флорасы климаттық өзгерістерден аман қалмай жойылып кетеді, тек оның жекелеген элементтері Торғай флорасында орта олигоценнің соңына дейін реликт ретінде тіршілік етуін жалғастыруда. Орташа олигоценде мезофильді орман флорасы максималды дамуға жетеді. Жоғарғы олигоценде климаттың салқындауына байланысты мезофильді орман флорасы кедейленеді. Осылайша, Мұғалжар олигоцен флорасында қызылқайың, магнолия, лавр, жөке, секвойя, шырша, қарағай, үйеңкі бар [43].

В.А.Вахрамеевтің айтуы бойынша [39; 341б.], олигоценнен бастап, климаттың біртіндеп салқындауы байқалады, бұл нағыз қоңыржай климаттың пайда болуына және оңтүстікке қарай жылжи бастаған қоңыржай орман аймағының қалыптасуына әкелді. Орталық Азияда, бәлкім, кеш бор дәуірінде немесе палеогеннің басында пайда болған дала белдеуі батысқа қарай кеңейіп, Қазақстан миоценінің басында жетеді.

В.С.Корнилова [44; 146-147б.] Қазақстанның орта олигоцендік флоралары қылқан жапырақты ағаштардан *Sequoia*, *Metasequoia*, *Taxodium*, *Cedrus*, *Pinus*, *Abies*, *Glytostrolus* және жапырақты ағаштардан – *Cercidiphyllum*, *Ziquidambar*, *Magnolia*, *Juglans*, *Betula*, *Alnus*, *Quercus*, *Ulnus*, *Acer* және т.б. көп болғанын айтады. Торғайдың төменгі миоцен флорасының құрамында *Ulnus longifolia*, *Quercus fuschikeusis*, *Ziziplus*, *Periploca*, *Myrtus* бар. Төменгі миоцен флорасы олигоцен флорасынан сирек ерекшеленеді. Ол Шығыс Азия мен Солтүстік Америкада емес, Жерорта теңізі түрлерінің ксерофильді келбеті мен көптігіне ие.

Ерте миоцен флорасы Батыс Қазақстан аумағындағы Кинтыкче орналасқан жерден белгілі. С.Г.Жилиннің [7; 45б.] пікірінше, бұл орташа жылы типтегі «Торғай» флорасы. Аталмыш флораның ең негізгі өкілдері – *Metasequoia distacha*, *Carpinus oxiana*, *Acer monoides*, *Corylus jarmolenkoi*.

Олигоценнің ортасына қарай, кейінірек миоценде Қазақстан флорасы біртұтас Торғай флористикалық провинциясын құрып, ССРО-ның еуропалық бөлігінің флорасына және Сібір мен Қиыр Шығыстың флорасына ұқсас болады.

Миоценде ормандар мен гидрографиялық желінің біртіндеп азаюы байқалады. Миоценнің екінші жартысында шалғынды-орманды қауымдастықтар басым болуы мүмкін.

П.Рейвн, Р. Эверш, С. Айехорнның [46] пікірінше, ормандар азайған сайын миоценде дала көбейе түседі. Миоцендегі құрғақ климаттың дәлелі - ерте миоцендік флоралардың - Торғайдағы Кушукская [8; 25б.] және ақтаулық [43; 12б., 47] флораның пайда болуы. Олар бүрген түріндегі өсімдіктермен сипатталады.

Миоценнің ортасында Б.А.Быковтың [12; 9б.] пікірінше, ксерофилденген бұталар мен шөптер плакорларға, әсіресе Алтай-Моңғол облысының батысына түсуге мүмкіндік алды, онда Тетис теңіз шөгінділерінің қуатты жыныстарында осындай алғашқы далалардың карбонатты топырақтары қалыптаса бастады.

Г.А.Пешкова [11; 176б.] «миоцен – плиоценде» климаттың ксерофитизациясы нәтижесінде дала және шөлді дала қауымдастықтары кең аумақтарды алып жатты, сонымен бірге орман алқаптары кедейленіп, азайды деп атап өтеді.

П.И.Дорофеев [10; 87б.] Еуразиялық неоген флорасын талдау негізінде неогенде Тетис флорасының қатты өзгерген элементтері мен неогеннің соңында шыршаның қоңыржай орман флорасының элементтері негізінде дала шыршасы, сондай-ақ шөл флорасы қалыптасып, құрлық пен мұхиттың контурлары қазіргі заманға жақындады деп көрсетеді.

Төрттік кезең жалпы салқындаумен сипатталады. Өсімдік жамылғысында астық тұқымдастар, алаботалылар мен күрделігүлділер басым.

Плейстоцен мұздықтардың табиғи-климаттық циклдерінің өзгеруіне байланысты жаһандық температура да алмасуымен сипатталады.

Мұз дәуірінде біздің аумақ мұзбен жабылмаған, бірақ Каспий теңізіне ағып жатқан транзиттік ағындармен қатты суланған. Эрозия мен денудацияның қарқынды процестері Оралмаңы үстіртінің ландшафтына ерекше әсер етті. Кең, терең ойқышталған өзен аңғарлары террасалар сериясымен сипатталады, олардың жоғарғылары түбінен көтеріледі. Үштік кезеңнің шөгінділері қонған эрозиялық қалдықтар (тюрткули) тән. Каспий теңізінің Хвалын трансгрессиясы кезінде Орал, Ойыл, Сағыз, Ембі және басқа өзендер үстірттің шеткі бөліктерінде өз атырауларын құрды.

Хвалын дәуірінде Оралмаңы үстіртінде және Жалпы Сыртта қоңыржай континентальды климат жағдайында орманды дала типіндегі өсімдіктер болған. Мұнда емен мен қайыңнан, көктеректен тегіс үйеңкі мен жөке ағаштарының шоғырлары көп болды. Олардың қалдықтары осы уақытқа дейін өзен аңғарларында және арқалықтарда сақталған [48].

И.М.Красченинников [4; 14б.] үштік және бор үстірттеріндегі солтүстік бірлестіктердің өткізгіші және баспанасы көптеген аңғарлардың беткейлері мен түбі болып табылады, мұнда эрозия сулы горизонттарды немесе жақсы жуылған және жақсы ылғалданған топырақтың азды-көпті үлкен аудандарын ашады.

Сонымен қатар, И.М.Красченинников [4; 8б.] «Қиыр Шығыстың жоталарын қоспағанда, Қырғыз өлкесінің аумағы мұздықтан бос болды, бұл оны мұздану әсерінен таулы биіктіктен түсетін таулы өсімдіктердің үлкен көші-қон жолының жағдайына әкелді және өсімдік аймақтарының іргелес жазықтарына ауысты» деп топшылайды.

Плейстоценде Мұғалжарлар, Қазақтың ұсақ шоқылары сияқты, оңтүстік Сібір тауларының Орал бореалды флорасына транзиттік жол болды. Батыс өсімдік түрлерінің бөлшектелген батыс беткейіне қоныстану, шығыс Мұғалжар аялдамасы-Мұғалжардың батыс және шығыс флоралары кейбір элементтерінің түйіскен жері болды және қазіргі уақытта болып табылады деп ойлауға мәжбүр етеді, ол екеуінің де әрі қарайғы қозғалысын кешіктіретін тосқауыл сияқты [4; 26 б.].

Голоценде термиялық максимум дәуірінде бореальды түрлер солтүстікке қарай шегінді, ал Тұран флорасының шөлді элементтерінің оңтүстік түрлері зерттелетін аумаққа еніп кетті.

Нәтижелер

Біз қолда бар материалдар негізінде зерттелетін аймақ флорасы қалыптасуының жалпы көрінісін қайта жасауға тырыстық.

Б.А. Быков [12; 5б.] атап өткендей, дала тарихын қалпына келтіру, флораның қалыптасуы өте күрделі мәселе, өйткені біріншіден, дала флорасы мен өсімдіктерінің қалыптасуы бірнеше деректер көзінен алынған, екіншіден, палеоботаникалық зерттеулер бұл үшін әлі жеткілікті материалдар берген жоқ, өйткені әсіресе, ксеретермиялық аймақтардың шөптесін өсімдіктері сирек жағдайларда ғана қазба күйінде сақталуы мүмкін.

З.В. Карамышева, Е.И. Рачковская [48; 265б.] шөпті өсімдіктердің үстемдігі бар аймақ үшін палеоботаникалық шежіренің жетілмегендігін атап өтеді.

Р.В. Камелиннің айтуы бойынша [1;101б.], нақты ғылыми дәлелдер болмаса, флора тарихын нақты егжей-тегжейлі сипаттау мүмкін емес. Қазіргі заманғы әдістерді қолдана отырып, палинология, палеоклиматология, палеоботаника туралы жаңа мәліметтер дала тарихының толық бейнесін жасайды.

Қорытынды

Ақтөбе флористикалық округінің осы уақытқа дейін жеткен ежелгі реликт түрлері табиғаты бойынша әртүрлі. Біз түрдің жалпы ауқымын, оның экологиялық, биологиялық керекшеліктерін, әдеби дереккөздердегі палеоботаникалық материалдарды талдау негізінде АФО флорасында реликттердің екі тобын бөлдік: неоген және төрттік. Неоген өз кезегінде 2 кіші топқа бөлінеді: шөл дала және моральды емес [49].

Шөлді дала миоцен-плиоцен, плиоцен, ал моральды емес – плиоцен реликтерімен ұсынылған. Төрттік реликттер келесі кіші топтарға бөлінеді: плейстоцен, плейстоцен-голоцен және голоцен.

Шөлді даланың плиоцен реликтеріне біздің флорамыздың *Anthemis trotzkiana*, *Linaria cretacea*, *Silene cretacea*, *Artemisia salsoloides*, *Crambe tataria*, *Capparis herbacea*, *Anabasis cretacea*, а также *Nanophyton erinaceum*, *Thesium refractum*, сондай-ақ *Nanophyton*, *Thesium refractum* сияқты міндетті кальцефиттер кіреді. Осы реликтілер тобының түрлерінде ареал типі бойынша еуразиялық дала тобы басым екені анық [50].

Моральды емес плиоцен реликтерінің кіші тобына біз холярктикалық және палеарктикалық диапазондары бар папоротниктердің дизъюнктивті-нақты түрлерін жатқызамыз. Бұларға *Ophioglossum vulgatum*, *Dryopteris filix-mas*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Athyrium filix-femina*, *Pteridium aquilinum*, *Matteuccia struthiopteris*, сондай-ақ *мегадизъюнктивті арель түрлері* – *Anemonoides nemorosa*, *Anemonoides altaica*, *Rubus sachalinensis* және т.б. жатады.

Сонымен қатар, плиоцен реликтеріне мегадизъюнктивті ареалды *Rubus sachalinensis* сияқты түрлер жатқызылды.

Плейстоцендік реликтілерге голарктикалық, палеарктикалық, еуропалық-жайық-қазақстандық-сібір, жайық-қазақстандық-таулы ортаазиялық, еуропалық-сібірлік, орал-таулы ортаазиялық ареалдары бар плейстоцендік флористикалық кешеннің түрлері жатады. Олардың көп бөлігі микродизъюнкцияларды қосқанда дизъюнктивті ареалды түрлер болып табылады.

Бұл П.А. Горчаковскийдің түсінігінде кең мағынада бореальды реликттер [51] сияқты түрлер *Anemone sylvestris*, *Caltha palustris*, *Delphinium elatum*, *Oxycoccus palustris*, *Comarum palustre*, *Crataegus korolkowii*, *Padus avium*, *Geum rivale*, *Impatiens noli-tangere*, *Adenophora lamarckii*, *Epipactis palustris*.

Плейстоцен-голоцен реликттерінің кіші тобына *Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Silene altaica*, *Thalictrum foetidum*, *Linaria altaica* жатқызылды.

Голоцен реликттерінің кіші тобына *Cerasus fruticosa*, *Astragalus longipetalus*, *Scabiosa isetensis*, *Asperula danilewskiana*, *Glycyrrhiza korshinskyi* және т.б. сияқты түрлер жатады. Бұл топшаға жатқызылған түрлер еуропалық-ежелгі жерортатеңіз-дік-номорлық, шығыс-ежелгі жерортатеңіздік, еуропалық-ортаазиялық-қаратеніздік-қазақстандық, еуропалық-ортаазиялық-жайық-қазақстандық, кавказдық-жайық-қазақ-стандық-тұрандық, кавказ-жайықтық-қазақстандық-ирандық-тұрандық, тұрандыққа жатады.

Біздің ауданның реликті түрлерінің ауқымын талдау флораның Еуропаның орманды, орманды-дала, дала аймақтарымен, сібірмен, тұран шөлдерімен, таулы орта Азиямен айқын байланыстарын, сондай-ақ Кавказ, Жерорта теңізі арқылы белгілі бір байланыстардың болуын көрсетеді және М.Г.Попов «дала флорасы негізінен екі түрлі флорогенетикалық аймақтардан қалыптасты: олардың қатысуы бірдей дерлік кешендер: бір жағынан жарық сүйгіш арктикалық, екінші жағынан ежелгі Жерорта теңізінен» [52; б.8] дегендей дала табиғатының қосарланғандығын тағы бір рет растайды: Дала табиғатының қосарлануын Р. В. Камелин де атап өтеді [53; б.38].

Осылайша, палеоботаника, палеогеография, палеогеология, фитостратиграфия, палеоклиматология және реликттерді талдау бойынша материалдарды зерттеу Ақтөбе флористикалық ауданының флорогенез процесінің күрделілігін, гетерогенділігі мен гетерохрондылығын көрсетеді.

Авторлардың қосқан үлесі

Мақала автор С.А. Айпеисованың көп жылғы Ақтөбе флористикалық округі флорасын зерттеулерінің нәтижесінде жинақталған материалдар негізінде жасақталды. Палеоботаника, палеогеография, палеогеология, фитостратиграфия, палеоклиматология, палеонтология материалдарына талдау жүргізу, тұжырымдама жасау, мақаланы ережеге сай рәсімдеу авторлар Н.А. Утарбаева және Е.Т. Казкеевпен жасалды.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқып, таныс және мүдделер қақтығысы жоқ.

Әдебиеттер тізімі

1. Камелин Р.В. Флористический анализ естественной флоры горной Средней Азии. – Москва: Наука, 1973. – 356 с.
2. Попов М.Г. Особенности флоры Дальнего Востока сравнительно с европейской. – Ташкент: Фан, 1977. – 68 с.
3. Криштофович А.Н. Открытие остатков флоры покрытосемянных в меловых отложениях Уральской области // Известия АН СССР. – 1914. – № 8. – С. 603.
4. Крашенинников И.М. Растительный покров Киргизской республики. – Оренбург: Киргизский народный комитет земли, 1925. – 104 с.
5. Вахрамеев В.А. Стратиграфия и ископаемая флора меловых отложений Западного Казахстана. – Москва. Изд-во АН СССР, 1952. – 385 с.
6. Буданцев Л.Ю. Ранние этапы формирования и расселения умеренной флоры бореальной области // Комаровские чтения, 36. – Ленинград: Наука, 1986. – 1-60 с.
7. Жилин С.Г. Основные этапы формирования умеренной флоры в олигоцене-раннем миоцене Казахстана. – Ленинград: Наука, 1984. – 112 с.
8. Корнилова В.С. Очерки истории флоры и растительности Казахстана. Растительный покров Казахстана. – Алма-Ата: 1966. – 37-69 с.
9. Дохман Г.И. Растительность Мугоджар. – Москва-Ленинград: Изд-во географической литературы, 1954. – 236 с.
10. Дорофеев П.И. Плиоценовая флора Матанова Сада на Дону. – Москва-Ленинград: Наука, 1966. – 87 с.
11. Пешкова Г.А. Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 2001. – 192 с.
12. Быков Б.А. Очерки истории растительности мира Казахстана и Средней Азии. – Алма-Ата, Наука, 1979. – 106 с.
13. Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. – Пермь: Пермский университет, 1991. – 80 с.
14. Лавренко Е.М. Основные черты ботанической географии пустынь Евразии и Северной Африки // Комаровские чтения. 15. – Москва-Ленинград, 1962. – С. 1-169.
15. Лавренко Е.М. Провинциальное разделение Центральноазиатской и Ирано-Туранской подобластей Афро-Азиатской пустынной области // Ботанический журнал. – 1965. – Т. 50, № 1. – С. 3-15.
16. Тахтаджян А.Л. Флористическое деление суши // Жизнь растений. – 1974. – Т.1. – С. 117-153
17. Вульф Е.В. Понятие «о реликте» в ботанической географии / Материалы по истории флоры и растительности СССР. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1941. – Вып. 1. – С. 28-60
18. Комаров В.Л. Введение к флорам Китая и Монголии // Труды СПб. Ботанического сада. – 1908. – Т. 29, №2. – С. 1-388.
19. Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bugrova E.M. et al. Biogeography of the Northern Peri-Tethys from the Late Eocene to the Early Miocene. 1. Early Eocene // J. Paleontol. – 2001. – Vol. 35, suppl. 1. – P. 1-68.
20. Васильев И.В. Материалы к палеогеографии и истории развития флоры и растительности Тургайского прогиба в палеогене // Информационный сборник Всесоюзного геологического института. – 1960. – Т. 24. – С. 59-66.

21. Бронева В.А. О раннеолигоцене бассейне на юго-востоке Тургайского прогиба // *Материалы Всесоюзного геологического института*. – 1961. – Т.43. – С. 93-103.
22. Байковская Т.Н. Верхнемеловые флоры Северной Азии // *Труды Ботанического института АН СССР. Серия 8*. – 1956. – № 2. – С. 49-181.
23. Шилин П.В. Позднемеловые флоры Казахстана: Систематический состав, история развития, стратиграфическое значение. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1986. – 200 с.
24. Вахрамеев В.А. Находка нижнемеловых покрытосеменных растений в Западном Казахстане // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. биологическое*. – 1946. – № 3. – С. 63-66.
25. Вахрамеев В.А. Юрские и раннемеловые флоры // *Палеозойские и мезозойские флоры Евразии и фитогеография этого времени*. – Москва: Наука, 1970. – С. 213-282.
26. Шилин П.В. Развитие поздней меловой флоры Казахстана // *Ботанический журнал*. – 1977. – Т.62, № 10. – С. 1004-1419.
27. Шилин П.В. Позднемеловая флора р. Белеуты // *Материалы по истории флоры и растительности Казахстана*. – Алма-Ата, 1977. – С. 126-139
28. Синицын В.М. Древние климаты Евразии. Ч. 1. Палеоген и неоген. – Ленинград: Издательство Ленинградского Университета, 1965. – 167 с.
29. Герман А.Б. Количественные палеоботанические данные о позднемеловом климате Евразии и Аляски // *Климат в эпохи крупных биосферных перестроек*. – Москва: Наука, 2004. – С. 88-105.
30. Ахметьев М.А. Климат Земного шара в палеоцене и эоцене по данным палеоботаники // *Климат в эпохи крупных биосферных перестроек*. – Москва: Наука, 2004. – С. 10-44.
31. Петренко А.А. Геологический очерк Орско-Дамбаровского промышленного района // *Записки Всесоюзного минералогического общества*. – 1939. – Вып. 3. – С. 480-500.
32. Баранов В.И. Этапы развития флоры и растительности в третичном периоде на территории СССР. – Москва: Высшая школа, 1959. – 364 с.
33. Байковская Т.Н. О систематическом положении некоторых палеоценовых растений Романкольская в Южном Урале // *Систематика и эволюция высших растений*. – Ленинград: Наука, 1980. – С. 4-9.
34. Баранов В.И. Новая ископаемая флора из третичных и верхнемеловых отложений западного склона Мугоджар // *Доклады АН СССР*. – 1953. – Т. 92, №5. – С. 78.
35. Ахметьев М.А. Казахстан и Центральная Азия (равнины и предгорья) // *Палеоген и изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн лет*. – Москва: Геос, 1999. – С. 168-178.
36. Макулбеков Н.М. О достоверности находки *Dryandra* в раннепалеогеновых флорах Мугоджар и Южного Урала // *Материалы по истории фауны и флоры Казахстана*. – Алма-Ата, 1977. – Т.7. – С. 154-162.
37. Макулбеков Н.М. Палеогеновые флоры Западного Казахстана и Нижнего Поволжья. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 236 с.
38. Ахметьев М.А. Фитостратиграфия континентальных отложений палеогена и миоцена внетропической Азии. – Москва: Наука, 1993. – 143 с.
39. Вахрамеев В.А. Ботанико-географическая зональность в геологическом прошлом и эволюция растительного мира // *Палеозойские и мезозойские флоры Евразии и фитогеография этого времени*. – Москва: Наука, 1970. – С. 332-344.

40. Буданцев Л.Ю. Эоценовая флора Павлодарского Прииртышья // Сборник памяти А.Н. Криштофовича. – Москва-Ленинград, 1957. – С. 177-198.
41. Вахрамеев В.А. Позднемиоценовые флоры // Палеозойские и мезозойские флоры Евразии и фитогеография этого времени. – Москва: Наука, 1970. – С. 282-301.
42. Шпуль В.Г. Новые данные по флоростратиграфии эоцен-олигоцена юго-восточного склона Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского университета. Серия геология. – 2005. – № 1. – С. 55-69.
43. Раюшкина Г.С. Олигоценная флора Мугоджар и Южного Алтая. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 123 с.
44. Корнилова В.С. Обзор палеоботанических исследований в Казахстане // Ботаника в Казахстане. – Алма-Ата: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 140-158.
45. Жилин С.Г. Третичные флоры Устюрта. – Ленинград: Наука, 1974. – 121 с.
46. Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника: в 2 т. / пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – Т.2. – 344 с.
47. Раюшкина Г.С. Новые данные по олигоценной флоре Западного Казахстана // Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. – Алма-Ата, 1977. – Т.7. – С. 163-177.
48. Карамышева З.В., Рачковская Е.И. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана. – Ленинград: Наука, 1973. – 278 с.
49. Айпеисова С.А. К истории формирования флоры Актюбинского флористического округа и обзор реликтов // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. – 2013. – № 1 (292). – С. 21-29.
50. Айпеисова С.А. К системе географических типов флоры степной зоны Казахстана // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. – 2012. – № 2 (290). – С. 8-14.
51. Горчаковский П.Л. Лесные оазисы казахского мелкосопочника. – Москва: Наука, 1987. – 157 с.
52. Попов М.Г. Основы флорогенетики. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – 136 с.
53. Камелин Р.В. Важнейшие особенности сосудистых растений и флористическое районирование России // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: материалы первой международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2002. – С. 36-41.

С.А. Айпеисова¹, Н.А. Утарбаева², Е.Т. Казкеев²

¹Университет Баишева, Актюбе, Казахстан

²Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

К вопросу истории формирования флоры Актюбинского флористического округа

Аннотация. Вопрос происхождения и истории формирования флоры – одно из важнейших направлений ботанико-географических исследований. Решение данного вопроса возможно только на основании материалов из палеоботаники, палеогеографии, палеогеологии, флоростратиграфии, палеоклиматологии, палеонтологии, а также выявлении и изучении реликтовых видов растений флоры.

Цель работы – рассмотреть основные этапы генезиса флоры Актюбинского флористического округа. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью разработки теоретических проблем флорогенеза и фитоценогенеза и отражением их на конкретном региональном материале.

Работа выполнена на основании литературных сведений по генезису флоры, геоморфологии и климатологии, а также на многолетних гербарных материалах, собранных нами маршрутным методом.

Анализ ареалов реликтовых видов района исследования демонстрирует выраженные связи флоры с лесной, лесостепной, степной зонами Европы, Сибири, пустынями Турана, горной Средней Азией, а также наличие определенных связей с Кавказом, Средиземноморьем и еще раз подтверждает двойственность природы степей: с одной стороны, из световыносливых видов аркто-третичного корня, а с другой стороны, – из древнесредиземноморских. Изучение материалов по палеоботаники, палеогеографии, палеогеологии, фитостратиграфии, палеоклиматологии и анализ реликтов отражают сложность и гетерогенность, и гетерохронность процесса флорогенеза Актюбинского флористического района.

Ключевые слова: происхождение флоры, история, ботанико-географические исследования, реликтовые виды, географический ареал, геоморфология, флорогенез.

S.A. Aipeisova¹, N.A. Utarbayeva², E.T. Kazkeev²

¹Baishev University, Aktobe, Kazakhstan

²Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

On the issue of the history of the formation of the flora of the Aktobe floral district

Abstract. The question of the origin and history of flora formation is one of the most important areas of botanical and geographical research. The solution of this issue is possible only on the basis of materials from paleobotany, paleogeography, paleogeology, phyt stratigraphy, paleoclimatology, paleontology, as well as the identification and study of relict plant species of flora.

The purpose of the work is to consider the main stages of the genesis of the flora of the Aktobe floral district. The urgency of the problem is due to the need to develop theoretical problems of phlorogenesis and phytocenogenesis and to reflect them on a specific regional material.

The work was carried out on the basis of literature data on the genesis of flora, geomorphology and climatology, as well as on long-term herbarium materials collected by us using the route method.

The analysis of the areas of relict species of the study area demonstrates the pronounced connections of flora with the forest, forest-steppe, steppe zones of Europe, Siberia, the Turan deserts, mountainous Central Asia, as well as the presence of certain connections with the Caucasus, the Mediterranean and once again confirms the duality of the nature of the steppes: on the one hand from the light-tolerant species of the Arctic-tertiary root, and on the other the sides are from the ancient Mediterranean». The study of materials on paleobotany, paleogeography, paleogeology, phyt stratigraphy, paleoclimatology and the analysis of relicts reflect the complexity and heterogeneity and heterochronicity of the process of florogenesis of the Aktobe floristic district.

Keywords: origin of flora, history, botanical and geographical research, relict species, geographical area, geomorphology, florogenesis.

References

1. Kamelin R.V. Floristicheskii analiz estestvennoi flory gornoj Srednei Azii [Floristic analysis of the natural flora of mountainous Central Asia] (Moskva, Nauka, 1973, 356 s.). [in Russian]
2. Popov M.G. Osobennosti flory Dal'nego Vostoka sravnitel'no s evropeiskoi [Features of the flora of the Far East in comparison with the European one] (Tashkent, Fan, 1977, 68 s.). [in Russian]
3. Krishtofovich A.N. Otkrytie ostatkov flory pokrytosemyannykh v melovykh otlozheniyakh Ural'skoi oblasti, Izvestiya AN SSSR [Discovery of remains of angiosperm flora in Cretaceous deposits of the Ural region, Izvestiya AN SSSR], 8, 603 (1914). [in Russian]
4. Krashennikov I.M. Rastitel'nyi pokrov Kirgizskoi respubliki [Vegetation cover of the Kyrgyz Republic] (Orenburg, Kirgizskii narodnyi komitet zemli, 1925, 104 s.). [in Russian]
5. Vakhrameev V.A. Stratigrafiya i iskopaemaya flora melovykh otlozhenii Zapadnogo Kazakhstana [Stratigraphy and fossil flora of Cretaceous deposits of Western Kazakhstan] (Moskva, Izd-vo AN SSSR, 1952, 385 s.). [in Russian]
6. Budantsev L.YU. Rannie ehtapy formirovaniya i rasseleniya umerennoi flory boreal'noi oblasti [Early stages of formation and settlement of the temperate flora of the Boreal region] Leningrad, Komarovskie chteniya [Leningrad, Komarov readings], 1-6 (1986). [in Russian]
7. Zhilin S.G. Osnovnye ehtapy formirovaniya umerennoi flory v oligotsene-rannem miotsene Kazakhstana [The main stages of the formation of temperate flora in the Oligocene-Early Miocene of Kazakhstan] (Leningrad, Nauka, 1984, 112 s.). [in Russian]
8. Kornilova V.S. Ocherki istorii flory i rastitel'nosti Kazakhstana. Rastitel'nyi pokrov Kazakhstana [Essays on the history of flora and vegetation of Kazakhstan. Vegetation cover of Kazakhstan] (Alma-Ata: 1966, 37-69 s.). [in Russian]
9. Dokhman G.I. Rastitel'nost' Mugodzhar [Vegetation of Mugojar] (Moskva-Leningrad, Izd-vo geograficheskoi literatury, 1954, 236 s.). [in Russian]
10. Dorofeev P.I. Pliotsenovaya flora Matanova Sada na Donu [The Pliocene flora of the Matanov Garden on the Don] (Moskva-Leningrad: Nauka, 1966, 87 s.). [in Russian]
11. Peshkova G.A. Florogeneticheskii analiz stepnoi flory gor Yuzhnoi Sibiri [Florogenetic analysis of the steppe flora of the mountains of Southern Siberia] (Novosibirsk, Nauka, 2001, 192 s.). [in Russian]
12. Bykov B.A. Ocherki istorii rastitel'nosti mira Kazakhstana i Srednei Azii [Essays on the history of the vegetation of the world of Kazakhstan and Central Asia] (Alma-Ata, Nauka, 1979, 106 p.). [in Russian]
13. Yurtsev B.A., Kamelin R.V. Osnovnye ponyatiya i terminy floristiki [Basic concepts and terms of floristry] (Perm', Permskii universitet, 1991, 80 s.). [in Russian]
14. Lavrenko E.M. Osnovnye cherty botanicheskoi geografii pustyn' Evrazii i Severnoi Afriki [The main features of the botanical geography of the deserts of Eurasia and North Africa] Leningrad: Komarovskie chteniya [Leningrad, Komarov readings], 1-69 (1962). [in Russian]
15. Lavrenko E.M. Provintsial'noe razdelenie Tsentral'noaziatskoi i Irano-Turanskoi podoblastei Afro-Aziatskoi pustynnoi oblasti [Provincial division of the Central Asian and Iranian-Turanian

subdistricts of the Afro-Asian Desert Region] *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Magazine], 1(50), 3-15 (1965). [in Russian]

16. Takhtadzhyan A.L. Floristicheskoe delenie sushi [Floral division of the land] *Zhizn' rastenii* [Plant life], 1(50), 117-153 (1974). [in Russian]

17. Vul'f E.V. Ponyatie «o relikte» v botanicheskoi geografii [The concept of «relic» in botanical geography] *Materialy po istorii flory i rastitel'nosti SSSR* [Materials on the history of flora and vegetation of the USSR], 1(12) (1983). [in Russian]

18. Komarov V.L. Vvedenie k floram Kitaya i Mongolii [Introduction to the flora of China and Mongolia] *Trudy SPb. Botanicheskogo sada* [Proceedings of St. Petersburg. The Botanical Garden], 2(29), 1-388 (1908). [in Russian]

19. Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bugrova E.M. et al. Biogeography of the Northern Peri-Tethys from the Late Eocene to the Early Miocene, 35, 1-68 (2001).

20. Vasil'ev I.V. Materialy k paleogeografii i istorii razvitiya flory i rastitel'nosti Turgaiskogo progiba v paleogene [Materials on paleogeography and the history of the flora and vegetation of the Turgai trough in the Paleogene] *Informatsionnyi sbornik Vsesoyuznogo geologicheskogo instituta* [Information collection of the All-Union Geological Institute], 24(25), 59-66 (1960). [in Russian]

21. Bronevoi V.A. O ranneoligotsenovom basseine na yugo-vostoke Turgaiskogo progiba [About the Early Oligocene basin in the south-east of the Turgai trough] *Materialy Vsesoyuznogo geologicheskogo instituta* [Materials of the All-Union Geological Institute], 43(60), 93-103 (1961). [in Russian]

22. Baikovskaya T.N. Verkhnelovoye flory Severnoi Azii [Upper Cretaceous flora of North Asia] *Trudy Botanicheskogo instituta AN SSSR* [Proceedings of the Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences], 2(8), 49-181 (1956). [in Russian]

23. Shilin P.V. Pozdnemelovye flory Kazakhstana. Sistemicheskii sostav, istoriya razvitiya, stratigraficheskoe znachenie [Late Cretaceous flora of Kazakhstan: Systematic composition, history of development, stratigraphic significance] (Alma-Ata, Nauka KazSSR, 1986, 200 s.) [in Russian]

24. Vakhrameev V.A. Nakhodka nizhnemelovykh pokrytosemennykh rastenii v Zapadnom Kazakhstane [The discovery of Lower Cretaceous angiosperms in Western Kazakhstan] *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otd. biologicheskoe* [Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Department of Biological], 3(12), 63-66 (1946). [in Russian]

25. Vakhrameev V.A. Yurskie i rannemelovye flory. Paleozoiskie i mezozoiskie flory Evrazii i fitogeografiya ehtogo vremeni [Jurassic and Early Cretaceous flora. Paleozoic and Mesozoic flora of Eurasia and phytogeography of this time] (Moskva, Nauka, 1976, 282 s.) [in Russian]

26. Shilin P.V. Razvitie pozdnei melovoi flory Kazakhstana [The development of the Late Cretaceous flora of Kazakhstan] *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal], 10(62), 1004-1419 (1977). [in Russian]

27. Shilin P.V. Pozdnemelovaya flora r.Beauty [Late Cretaceous flora of the Beleuta river] *Materialy po istorii flory i rastitel'nosti Kazakhstana* [Materials on the history of flora and vegetation of Kazakhstan], 126-139 (1977). [in Russian]

28. Sinitsyn V.M. Drevnie klimaty Evrazii. CH.1. Paleogen i neogen [Ancient climates of Eurasia. Part 1. Paleogene and Neogene] (Leningrad, Izdatel'stvo Leningradskogo Universiteta, 1965, 167 s.). [in Russian]

29. German A.B. Kolichestvennyye paleobotanicheskie dannye o pozdnemelovom klimate Evrazii i Alyaski. Klimat v ehpokhi krupnykh biosfernykh perestroek [Quantitative paleobotanical data on the Late Cretaceous climate of Eurasia and Alaska. Climate in the epochs of major biospheric rearrangements] (Moskva, Nauka, 2004, 88-105 s.). [in Russian]
30. Akhmet'ev M.A. Klimat Zemnogo shara v paleotsene i ehotsene po dannym paleobotaniki. Klimat v ehpokhi krupnykh biosfernykh perestroek [The climate of the Globe in the Paleocene and Eocene according to paleobotany data. Climate in the epochs of major biospheric perestroika] (Moskva, Nauka, 2004, 10-44 s.). [in Russian]
31. Petrenko A.A. Geologicheskii ocherk Orsko-Dambarovskogo promyshlennogo raiona [Geological sketch of the Orsko-Dombarovsky industrial district] Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva [Notes of the All-Union Mineralogical Society], 480-500 (1939). [in Russian]
32. Baranov V.I. Ehtapy razvitiya flory i rastitel'nosti v tretichnom periode na territorii SSSR [Stages of flora and vegetation development in the Tertiary period on the territory of the USSR] (Moskva, Vysshaya shkola, 1959, 364 s.). [in Russian]
33. Baikovskaya T.N. O sistematicheskom polozhenii nekotorykh paleotsenovykh rastenii Romankol'saya v Yuzhnom Urale [On the systematic position of some Paleocene Romanculsai plants in the Southern Urals] Sistematika i ehvolyutsiya vysshikh rastenii [Systematics and evolution of higher plants] (Leningrad, Nauka, 3(25), 4-9, 1980). [in Russian]
34. Baranov V.I. Novaya iskopaemaya flora iz tretichnykh i verkhnemelovykh otlozhenii zapadnogo sklona Mugodzhar. Doklady AN SSSR [New fossil flora from tertiary and Upper Cretaceous deposits of the western slope of Mugodjar. Reports of the USSR Academy of Sciences] (Leningrad, Nauka, 5(92), 70-78, 1953). [in Russian]
35. Akhmet'ev M.A. Kazakhstan i Tsentral'naya Aziya (ravniny i predgor'ya). Paleogen i izmenenie klimata i landshaftov za poslednie 65 mln let [Kazakhstan and Central Asia (plains and foothills). Paleogene and climate and landscape change over the last 65 million years] (Moskva, Geos, 168-178, 1999). [in Russian]
36. Makulbekov N.M. O dostovernosti nakhodki Dryandra v rannepaleogenovykh florakh Mugodzhar i Yuzhnogo Urala: materialy po istorii fauny i flory Kazakhstana, Alma-Ata [On the reliability of the Dryandra find in the Early Paleogene flora of Mugodzhar and the Southern Urals: Materials on the history of fauna and flora of Kazakhstan, Alma-Ata], 7, 154-162 (1977). [in Russian]
37. Makulbekov N.M. Paleogenovye flory Zapadnogo Kazakhstana i Nizhnego Povolzh'ya [Paleogene flora of Western Kazakhstan and the Lower Volga region] (Alma-Ata, Nauka, 1977, 236 s.). [in Russian]
38. Akhmet'ev M.A. Fitostratigrafiya kontinental'nykh otlozhenii paleogena i miotsena vnetropicheskoi Azii [Phytostratigraphy of Paleogene and Miocene continental sediments of Extratropical Asia] (Moskva, Nauka, 1993, 143 s.). [in Russian]
39. Vakhrameev V.A. Botaniko-geograficheskaya zonal'nost' v geologicheskom proshlom i ehvolyutsiya rastitel'nogo mira. Paleozoiskie i mezozoiskie flory Evrazii i fitogeografiya ehogo vremeni [Botanical and geographical zonation in the geological past and the evolution of the plant world], 332-344 (1970). [in Russian]
40. Budantsev L.YU. Ehotsenovaya flora Pavlodarskogo Priirtysh'ya [The Eocene flora of the Pavlodar Irtysh region] Sbornik pamyati A.N. Krishtofovicha [Collection in memory of A.N. Krishtofovich] (Moskva-Leningrad, 1957, 177-198). [in Russian]

41. Vakhrameev V.A. Paleozoiskie i mezozoiskie flory Evrazii i fitogeografiya ehtogo vremeni. Pozdnemelovye flory. [Paleozoic and Mesozoic flora of Eurasia and phytogeography of this time. Late Cretaceous flora] (Moskva, Nauka, 1970, 282-301 s.). [in Russian]
42. Shpul' V.G. Novye dannye po fitostratigrafii ehotsen-oligotsena yugo-vostochnogo sklona Voronezhskoi anteklizy [New data on phytostratigraphy of the Eocene-Oligocene of the southeastern slope of the Voronezh antecline] Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seriya geologiya, [Bulletin of the Voronezh State University. Geology series], 1(12), 55-69 (2005). [in Russian]
43. Rayushkina G.S. Oligotsenovaya flora Mugodzhara i Yuzhnogo Altaya [Oligocene flora of Mugodzhara and Southern Altai] (Alma-Ata, Nauka, 1979, 123 s.). [in Russian]
44. Kornilova V.S. Obzor paleobotanicheskikh issledovaniy v Kazakhstane [Review of paleobotanical research in Kazakhstan], Botanika v Kazakhstane [Botany in Kazakhstan] (Alma-Ata, Izd-vo AN SSSR, 140-158 (1959). [in Russian]
45. Zhilin S.G. Tretichnye flory Ustyurta [Tertiary flora of Ustyurt] (Leningrad, Nauka, 1974, 121 s.). [in Russian]
46. Reivn P., Ehvert R., Aikkhorn S. Sovremennaya botanika: v 2t. [Modern Botany: in 2 vol.] (Moskva, Mir, 1990, 344 p.). [in Russian]
47. Rayushkina G.S. Novye dannye po oligotsenovoi flore Zapadnogo Kazakhstana [New data on the Oligocene flora of Western Kazakhstan], Materialy po istorii fauny i flory Kazakhstana [Materials on the history of fauna and flora of Kazakhstan], 163-177 (1977). [in Russian]
48. Karamysheva Z.V., Rachkovskaya E.I. Botanicheskaya geografiya stepnoi chasti Tsentral'nogo Kazakhstana [Botanical geography of the steppe part of Central Kazakhstan] (Leningrad, Nauka, 1973, 278 s.) [in Russian]
49. Aipeisova S.A. K istorii formirovaniya flory Aktyubinskogo floristicheskogo okruga i obzor reliktoy [On the history of the formation of the flora of the Aktobe floristic district and a review of relics] Izvestiya NAN RK. Seriya biologicheskaya i meditsinskaya [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Biological and medical series], 21-29 (2013). [in Russian]
50. Aipeisova S.A. K sisteme geograficheskikh tipov flory stepnoi zony Kazakhstana [To the system of geographical types of flora of the steppe zone of Kazakhstan], Izvestiya NAN RK. Seriya biologicheskaya i meditsinskaya [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Biological and medical series], 8-14 (2012). [in Russian]
51. Gorchakovskii P.L. Lesnye oazisy kazakhskogo melkosopochnika [Forest oases of the Kazakh smallholder] (Moskva, Nauka, 1987, 157 s.) [in Russian]
52. Popov M.G. Osnovy florigenetiki [Fundamentals of phlorogenetics] (Moskva, AN SSSR, 1963, 136 s.). [in Russian]
53. Kamelin R.V. Vazhneishie osobennosti sosudistykh rasteniy i floristicheskoe raionirovaniye Rossii [Importance for the economy of Southern Siberia and Mongolia], Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii: materialy pervoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia: proceedings of the first international scientific and practical conference], Barnaul, 36-41 (2002). [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Айпеисова С.А. – биология ғылымдарының докторы, ауыл шаруашылығы кафедрасының профессоры, С. Баишев университеті, Ағ. Жұбановтар көш., 302 А, Ақтөбе, Қазақстан.

Утарбаева Н.А. – PhD, биология кафедрасының аға оқытушысы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, А. Молдағұлова даңғ, 34, Ақтөбе, Қазақстан.

Казкеев Е.Т. – биология ғылымдарының кандидаты, биология кафедрасының аға оқытушысы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, А. Молдағұлова даңғ, 34, Ақтөбе, Қазақстан.

Aipeisova S.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Baishev University, br. Zhubanov str., 302 A, Aktobe, Kazakhstan.

Utarbayeva N.A. – PhD, Senior lecturer of the Department of Biology, K. Zhubanov Aktobe Regional University, 34 A. Moldagulova Ave., Aktobe, Kazakhstan.

Kazkeev E.T. – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of the Department of Biology, K. Zhubanov Aktobe Regional University, 34 A. Moldagulova Ave., Aktobe, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.31.27

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-39-54>

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтағы (*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*) өнімділік процесі

Д.Т. Утеулиева^{ID}, Б.С. Альжанова^{ID}, А.С. Бисенгазиева^{ID}, Ж.М. Ихласова^{ID},
Б.Ж. Жангазиева^{ID}

М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: d_uteulieva@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада бетегелі-лерх жусанды (*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*) қауымдастықтағы өнімділікті, өнімділік-деструкциялық үрдістердің қарқындылығы және өсімдік-топырақ жүйесіндегі азот және күл элементтерінің биологиялық айналымын Халықаралық қабылданған биологиялық бағдарламаға сәйкес жүргізген зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеу аймағы Батыс Қазақстанның Орал маңы үстіртінің солтүстік-шығыс бөлігіндегі толқынды-жазықты қоңыржай құрғақ далалы Елек өзенінің аңғарына қарай еңкіш келген Шелек ауданындағы Қоншыбай сайындағы қара-қоңыр карбонатты-сортаңды топырағында орналасқан. Зерттелген аймақтағы қауымдастықтар жайылымдық және мал азығы шаруашылығында өте маңызды. Бірақ соңғы кездегі антропогендік факторлардың әсерінен өсімдіктер қауымдастықтарында өсімдік және топырақ жамылғысы өзгеріске түсіп, өсімдік түрлерінің алуандылығы азайды. Биологиялық өнімділік төмендеп, химиялық элементтердің айналымы өзгеріп, мал азықтық маңызы бар өсімдіктерді арам шөптер алмастыруда. Бетеге-лерх жусанды қауымдастық орташа деңгейде шөлейттенген, орташа дигрессиялық деңгей тән. Бұл қауымдастықтарда түр алуандығы 70% дейін төмендеген, мал азықтық маңызы бар өсімдіктер азайып, оларды мал азықтық құндылығы жағынан нашар және зиянды өсімдіктер алмастырған. Бұл қауымдастықты тиімді пайдаланудың нәтижесінде қайтадан қалпына келтіруге болады.

Түйін сөздер: қауымдастық, жасыл масса, қураған бөлім, төсеніш, азот және күл элементтер.

Кіріспе

Антропогендік факторлардың әсерінен өсімдіктер қауымдастықтарында өсімдік және топырақ жамылғысы өзгеріске түсіп, өсімдік түрлерінің алуандылығы азайып, биологиялық өнімділік төмендеп, химиялық элементтердің айналымы өзгеріп, мал азықтық маңызы бар өсімдіктерді арам шөптер алмастыруда. Сондықтан өсімдік және топырақ жамылғысының жағдайын, өнімділік динамикасын, химиялық элементтердің айналымын зерттеп, тиімді пайдалану және қорғау шараларын қарастыру өзекті.

Зерттеу әдістері

Өсімдік қауымдастықтарындағы өнімділікті, өнімділік-деструкциялық үрдістердің қарқындылығы және өсімдік-топырақ жүйесіндегі азот пен күл элементтерінің биологиялық айналымы Халықаралық қабылданған биологиялық бағдарламаға сәйкес, сонымен қатар Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич, Н.П. Ремезов еңбектеріндегі әдістер бойынша зерттеулер жүргізілді [1,2].

Геоботаникалық, флоралық, микроклиматтық зерттеулер, органикалық заттардың қор динамикасының есебі бетегелі-лерха жусанды (*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*) қауымдастықта екі жылдың вегетациялық мерзімінде айына екі рет жүргізілді.

Биогеоценоз қызметіне баға беру үшін жер үсті жасыл масса (G), құраған бөлім (D), төсеніш (L) және тірі тамыр (R), өлі тамыр (V) динамикасы анықталды. Кейбір бөлімдердің өнімділік-деструкциялық үрдісінің өнімділік бағасы Солтүстік Каспий маңы дала аймағындағы қауымдастықтың жер беті және жер асты сферасындағы тірі, өлі органикалық заттар қорының динамикасын теңестіру баланс жүйесін қолдану минимальды баға әдісімен зерттеулер материалы бойынша туындады [3,4,5]. Бұл әдіс шетелде де қолданылған (Kelly, Van Dyne, Harris) [6].

Талқылау

Зерттелетін аймақ толқынды-жазықты қоңыржай құрғақ дала Шелек ауданына, Елек аңғарына еңкіш тартқан Орал маңы үстіртінің солтүстік-шығыс бөлігіне жатады [7]. Қоншыбай сайындағы қара-қоңыр карбонатты-сортаңды топырақта бетегелі-лерха жусанды (*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*) қауымдастық таралған. Осы топырақтың морфологиялық белгілеріне назар аударып көрелік:

А горизонты. Қалыңдығы 0-ден 20 см-ге дейінгі аралықта, түсі қара- қоңыр, түйірлі-призмалы құрылымды, ауыр саздақ, тығыз, тамырлар көп, ауысу біртіндеп жүреді.

В горизонты. Қалыңдығы 20-дан 59 см-ге дейін, түсі қоңыр лайлы сары реңдері бар, саздақ, жаңғақты-түйірлі құрылымды, алдыңғы қабатпен салыстырғанда өте тығыз, келесі қабатқа ауысуы біртіндеп жүреді.

ВС горизонты. Қалыңдығы 59-дан 92 см-ге дейін, түсі қоңыр, саздақ, призмалы құрылымды, алдыңғы қабатпен салыстырғанда тығыз.

Сулы сығындының талдауы тез еритін тұздардың көп мөлшерінің бар екендігін көрсетеді, бұл топырақтың сортаңдануына әкеп соғады (Кесте-1).

Сульфат ионы тек А горизонтында кездеседі, ал хлор ионының мөлшері көп және төменгі қабаттарға қарай азайған, ол экожүйенің дағдарыс жағдайына өтуін көрсетеді. Кальций магниймен салыстырғанда артық, топырақтың су-ауа құрылымын жақсартады.

Кесте 1

Қара-қоңыр карбонатты-сортаңды топырақтың сулы сығындысы

| Горизонт қалыңдығы см | Н | Жалпы сілтілігі HCO ₃ | Мг-экв/100 г топырақта | | | | | |
|-----------------------|-----|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| | | | СГ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| А 0-20 | 7,4 | 0,5 | 0,34 | 0,02 | 0,088 | 0,20 | 0,340 | 0,14 |
| В 20-59 | 7,3 | 0,5 | 0,17 | - | 0,39 | 0,1 | 0,266 | 0,131 |
| ВС 59-92 | 7,5 | 0,8 | 0,15 | - | 0,41 | 0,2 | 0,5 | 0,223 |

Қара-қоңыр карбонатты-сортаңды топырақтың химиялық құрамы топырақтың жоғарғы горизонтында қара шіріктің аздығымен ерекшеленеді (Кесте-2). Бірақ азот мөлшері көп және төмендеген сайын азайып отырады. Ал фосфор мөлшері керісінше төменгі қабаттарда жоғарылаған. Магний мен кальций барлық қабаттарда тең емес орналасқан және мөлшері де төмен, бұл сортаңдану үрдісінің белсенді дамуына әкеліп отыр [8,9].

Кесте 2

Қара-қоңыр карбонатты-сортаңды топырақтың химиялық құрамы

| Горизонт қалыңдығы см | Тюрин бойынша қара шірік % | N % | P % | Сіңірілген негіздің мөлшері в мг-экв/100 г топырақта | | |
|-----------------------|----------------------------|------|------|--|-------|---------|
| | | | | Ca 2+ | Mg 2+ | Барлығы |
| А 0-22 | 2,2 | 0,33 | 0,12 | 0,35 | 0,150 | 4,81 |
| В 20-59 | 2,0 | 0,27 | 0,1 | 0,32 | 0,140 | 2,79 |
| ВС 59-92 | 0,2 | 0,13 | 0,15 | 0,52 | 0,23 | 2,6 |

Бетегелі-лерха жусанды (*Festuca valesiaca*, *Artemisia lerchiana*) қауымдастықта 15 тұқымдасқа жататын 21 түр тіркелді. Көпшілік түрге ие болған тұқымдастар *Asteraceae*-8 вид (39,1%), *Brassicaceae*-4 (19,04%), *Poaceae*-3 (14,3%), *Fabaceae*-3, *Rosaceae*-2 (9,5%).

Проективті жамылғысы 50-60%, ал нағыз жамылғы 30-35%. Бұл қауымдастықтың түрлер саны 10-нан 13-ке дейін өзгеріп тұрады. Шөп бітігі үш қабат.

Бірінші қабатты (70-100 см.) тобылғы (*Spiraea hypericifolia*), эстрагон жусаны (*Artemisia dranunculus*) және т.б. түзеді.

Екінші қабат (20-70 см.) бетеге (*Festuca valesiaca*), Лерха жусаны (*Artemisia lerchiana*), қызылқұйрық (*Amarantus albus*), иісті түймедақ (*Tripleurospermum perforatum*) және т.б. тұрады.

Үшінші қабат (10-20 см.) қоңырбас (*Poa bulbosa*), жауылша (*Alyssum lenense*), шытырмақ (*Lepidium perfoliatum*) және т.б. [10-12]

Нәтижелер

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықта доминантты түрлерге: *Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca* жатады. Серіктес түрлер: *Artemisia dracunculus*, *Artemisia austriaca*, *Phlomis pungens* және т.б. 3-кестеде бетегелі-лерха жусанды қауымдастықта жасыл массаның жиналуы мен қауымдастықтың өнімділік сипаттамасы берілген.

Жасыл масса 2021 ж. маусымында (41,45 ц/га), ал 2022 ж. шілдесінде (35,05 ц/га) барынша көп, бұл ауа температурасы мен жауын-шашын көлеміне байланысты болды.

Ең аз мөлшері 2021-2022 ж. жаз маусымының соңында (қыркүйек-18,47 ц/га, тамыз-11,95 ц/га) тыныштық кезеңде байқалады. 2022 ж. күзгі жаңбырдан соң, лерха жусанының өркені пайда бола бастап, астық тұқымдастары өніп-өсіп, жасыл массаның екінші максимумы (18,72 ц/га) байқалды. Сонымен бетегелі-лерха жусанды қауымдастықта жасыл массаның екі максимумы тіркелді: жазғы және күзгі.

2021-2022 ж. қураған бөлім мөлшерінің ең аз мөлшері ауа температурасының төмендеуі салдарынан, маусым айында (4,27 ц/га; 8,25 ц/га) байқалды. Ал жаз маусымының орта кезеңінде (шілде-тамыз) құрғақшылық және вегетативті мүшелердің қурауынан қураған бөлімнің мөлшері өскен. Орташа маусымдық мөлшері 2021 ж.-6,21 ц/га, 2022 ж.-13,15 ц/га.

Төсеніштің максималды көрсеткіші 2021 ж. тамызында (43,47 ц/га), 2022 ж. қыркүйегінде (43,47 ц/га) байқалды. Ал минималды көрсеткіші көктем-жазғы кезеңде -22,9 ц/га (2021 ж.); 8,67 ц/га (2022 ж.) көрінді.

Қураған бөлім мен төсеніштің қосындысы (D+L) 2021 ж.-37,05 ц/га, 2022 ж.-37,15 ц/га. Қураған бөлім мен төсеніштің қосындысының жер беті жасыл массасына ара қатынасы (D+L/G) орташа вегетациялық кезеңде 2021 ж.-1,37, 2022 ж.-2,02 тең.

Жер беті сферасындағы органикалық заттар қосындысының ең жоғарғы мәні (G+D+L) 2021 ж. тамыз айында (71,51 ц/га), ал 2022 ж. қыркүйек айында (74,87 ц/га), бұның өзі осы кезеңдегі төсеніштің мол жиналуынан болады.

Тірі тамырдың маусымдық орташа мөлшері 2022 жылмен (48,14 ц/га) салыстырғанда 2021 ж. (86,36 ц/га) көп. 2021-2022 ж. қыркүйек айларында (150,16 ц/га; 75,57 ц/га) тірі тамыр көп жиналған. Ал 2021 ж. маусымында-26,66 ц/га, 2022 ж. мамырында -26 ц/га аз жиналған.

Бұл қауымдастықтың өлі тамыр қорының динамикасы тірі тамыр қорының динамикасын қайталайды. Өлі тамырдың да ең үлкен көрсеткіші күзде (тамыз - 58,88 ц/га; қыркүйек -74,12 ц/га), ал ең аз көрсеткіші 2021 ж. шілде айында (31,61 ц/га), 2022 ж. мамыр айында (23,6 ц/га).

Жер асты мүшелерінің қор мөлшері (R+V) күзгі маусымда көп (қыркүйек – 204,2ц/га; қыркүйек-149,69 ц/га).

(R/V) қатынасы маусымдық орташа мөлшері 2021 ж. – 1,89, 2022 ж. – 1,15, бірден үлкен, демек тамырлардың даму жылдамдығы оның жойылу жылдамдығынан артық [13].

Кесте 3

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың өнімділігінің негізгі сипаттамасы

| Сипаттама | Өлшемі | 2021 ж. | | | | | Хорт |
|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | VI | VII | VIII | IX | | |
| G | ц/га | 41,45 | 25,82 | 22,57 | 18,47 | 27,08 | |
| D | ц/га | 4,27 | 9,27 | 5,47 | 5,82 | 6,21 | |
| L | ц/га | 22,9 | 31,55 | 43,47 | 25,45 | 30,84 | |
| R | ц/га | 26,66 | 55,77 | 112,86 | 150,16 | 86,36 | |
| V | ц/га | 38,09 | 31,61 | 58,88 | 54,04 | 45,65 | |
| D+L | ц/га | 27,17 | 40,82 | 48,94 | 31,27 | 37,05 | |
| D+L/G | | 0,65 | 1,58 | 2,17 | 1,69 | 1,37 | |
| G+D+L | ц/га | 68,62 | 66,64 | 71,51 | 49,74 | 64,13 | |
| G+R | ц/га | 68,11 | 81,598 | 135,43 | 168,63 | 113,44 | |
| R+V | ц/га | 64,75 | 87,38 | 171,74 | 204,2 | 132,01 | |
| R/G | | 0,64 | 2,16 | 5,00 | 8,13 | 3,19 | |
| R/V | | 0,69 | 1,76 | 1,92 | 2,78 | 1,89 | |
| G+R+D+L+V | ц/га | 133,37 | 154,02 | 243,25 | 253,94 | 46,39 | |
| D+L+V/G+R | | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | |
| 2022 ж. | | | | | | | |
| | | V | VI | VII | VIII | IX | Хорт |
| G | ц/га | 12,4 | 13,57 | 35,05 | 11,95 | 18,72 | 18,34 |
| D | ц/га | 9 | 8,25 | 12,45 | 20,87 | 15,2 | 13,15 |
| L | ц/га | 8,67 | 21,52 | 22,95 | 25,95 | 40,95 | 24 |
| R | ц/га | 26 | 50,55 | 27,85 | 60,71 | 75,57 | 48,14 |
| V | ц/га | 23,6 | 28,71 | 38,34 | 43,23 | 74,12 | 41,6 |
| D+L | ц/га | 17,67 | 29,77 | 35,4 | 46,82 | 56,15 | 37,15 |
| D+L/G | | 1,42 | 2,19 | 1,00 | 3,92 | 3,00 | 2,02 |
| G+D+L | ц/га | 30 | 43,34 | 70,45 | 58,77 | 74,87 | 55,49 |
| G+R | ц/га | 38,4 | 64,72 | 62,9 | 72,66 | 94,29 | 66,48 |
| R+V | ц/га | 49,6 | 79,26 | 66,19 | 103,94 | 149,69 | 89,74 |
| R/G | | 2,00 | 3,72 | 0,79 | 5,08 | 0,1 | 2,62 |
| R/V | | 1,5 | 1,8 | 0,73 | 1,4 | 1,00 | 1,15 |
| G+R+D+L+V | ц/га | 79,6 | 122,6 | 136,64 | 162,71 | 224,56 | 145,23 |
| D+L+V/G+R | | 1,00 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,2 |

Бетегелі-лерха жусанды (*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*) қауымдастықтағы өнімділік-деструкциялық үрдісіне тоқталайық. Мамыр -маусым айында 2022 ж. жасыл масса өсімі 14,77 ц/га құраған (Сурет-1).

Қураған бөлімнің қосылу мөлшері 2022 ж. 13,6 ц/га, төсеніш-12,85ц/га тең. Төсеніш мөлшерінің аздығынан ыдырау үрдісі болмаған.

Тірі тамырдың өсімі (29,66 ц/га) қарқынды жүрген, өлі тамырдың өсімі 5,11 ц/га тең, өлі тамырдың минерализация үрдісі жүрмеген.

Маусым-шілде айларында 2021 жасыл масса өсімі байқалмады, 2022 ж. 27,11 ц/га дейін көбейген.

Қураған бөлімнің қосылу мөлшері 2021 ж. 15,63 ц/га, 2022 ж. 2 рет төмендеген ($\Delta D=5,63$ ц/га).

Төсеніштің қосылуы 2021 ж.-20,63 ц/га, 2022 ж.-1,43 ц/га құраған. Төсеніштің минерализациялану үрдісі 2021 ж. 29,28 ц/га болса, ал 2022 ж. жүрмеген.

Тірі тамыр өсім көрсеткіші 29,11 ц/га, 2022 ж. тіркелмеген.

Ал өлі тамыр өсімі 2021 ж. болмаған, 2022 ж. арттып, 22,7 ц/га құраған. Өлі қалдықтардың минерализациялануы 2021 ж.-6,48 ц/га, 2022 ж.-32,33 ц/га.

Шілде-тамыз кезеңінде жасыл массаның өсімі 2021 ж. 18,97 ц/га құраған, ал 2022 ж. ештеңе қосылмаған.

Қураған бөлім мөлшері 2021 ж. көбейген (15,72 ц/га), 2022 ж. (23,1 ц/га) 4,1 рет. Төсеніш мөлшері де артқан 2021 ж. 1,7 рет (11,92 ц/га), 2022 ж.-31,52 ц/га. Төсеніштің минерализациялану үрдісі 2021 ж. байқалмады, 2022 ж. 34,52 ц/га түзген.

Жер асты сферасында тірі тамыр өсімі 2021 ж. 2,9 рет артқан ($\Delta R=84,36$ ц/га), 2022 ж. $\Delta R=37,75$ ц/га.

Өлі тамыр өсімі 2021 ж. $\Delta V=27,27$ ц/га, 2022 ж. 4,6 рет азайған ($\Delta V=4,85$ ц/га). Тамырдың минерализациялануы екі жылда да байқалмады.

Тамыз-қыркүйек айларында жасыл масса көрсеткіші 2021 ж. өсімі нөлге тең, 2022 ж. 27,44 ц/га түзген.

Қураған бөлім мөлшері 4,1 ц/га дейін, 2022 ж. 20,67 ц/га дейін азайған. Сонымен қатар төсеніш мөлшері де азайған, 2021 ж. көрсеткіші 4,45 ц/га дейін, 2022 ж. 15,00 ц/га. Төсеніш минерализациялануы 2021 ж. 22,47 ц/га түзсе, 2022 ж. жүрмеген.

Тірі тамыр 2021 ж. 37,3 ц/га құраған, 2022 ж. қарқынды түзіп, 45,75 ц/га тең.

Өлі тамыр өсімі 2021 ж. болмаған, 2022 ж. 6,3 рет артқан (30,89 ц/га).

Өлі тамыр минерализациясы 2021 ж. 4,84 ц/га түзілсе, ал 2022 ж. тіпті түзілмеген.

Жасыл масса мен тірі тамыр өсімдерінің қосындысы ($\Delta G+\Delta R$) 2021 ж. 169,74 ц/га, 2022 ж.-182,48 ц/га құраған.

Эколого-фитоценологиялық көрсеткіші 2021 ж. 7,95, 2022 ж. 1,63 тең. Қураған бөлім, төсеніш, өлі тамыр өсімдерінің қосындысы ($\Delta D+\Delta L+\Delta V$) орташа есеппен 2021 ж.-99,72 ц/га, 2022 ж.-187,39 ц/га тең.

Жер беті, асты мортмассалар өсімінің тірі органикалық заттар өсіміне ара қатынасы ($\Delta D+\Delta L+\Delta V/\Delta G+\Delta R$) 2021 ж.-0,59, 2022 ж.-1,02 түзген.

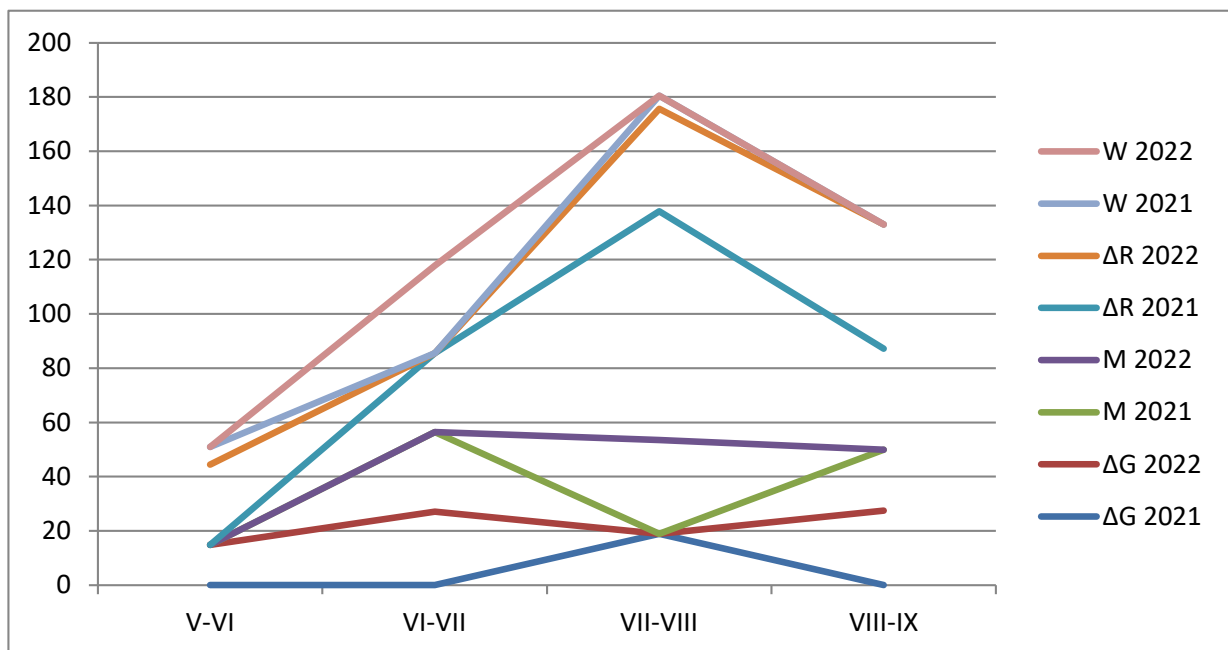
Төсеніштің, өлі тамыр минерализациясының қосындысы (M+W) 2021 ж.63,7 ц/га, 2022 ж.-66,85 ц/га құраған.

Тірі органикалық масса қосындысының төсеніш және өлі тамыр минерализациясының қосындысына қатынасы ($\Delta G + \Delta R / M + W$) 2021 ж.-2,69, 2022 ж.-2,73.

Жалпы мортмасса қосындысының төсеніш пен өлі тамыр минерализациясына қатынасы ($\Delta D + \Delta L + \Delta V / M + W$) 2021 ж.-1,58, 2022 ж.-2,8 құраған.

Айналым жылдамдығы немесе өсімдік қауымдасындағы жаңару коэффициенті жылдық өнімнің жалпы органикалық заттар қорына ара қатынасымен өлшенеді де, жер беті жаңаруы ($\Delta G / G1 + D1 + L1$) 2021 ж.-0,28, 2022 ж.-1,62 тең, жер асты бөлімінде ($\Delta R / R1 + V1$) 2021 ж.-1,5, 2022 ж.-1,4 тең.

Экожүйенің тіршілік көрсеткіші жалпы өсім қосындысы ($\Delta G + \Delta R$) аз мөлшері бетегелі-лерха жусанды қауымдасында. Ең маңызды сипаттаманың бірі экожүйенің тіршілік әрекеті, яғни тірі тамыр қорының жасыл масса қорына қатынасы $\Delta R / \Delta G$. Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықта эколого-фитоценологиялық көрсеткіші аса үлкен, бұл қауымдастықтарда экологиялық жағдай экстремальды, сондықтан тірі органикалық заттардың көп бөлігі өсімдіктің жер асты бөлігіне жиналған.



Сурет 1. Бетегелі-лерха жусанды қауымдастығындағы өнімділік-деструкциялық үрдісі

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастығындағы жер асты және үсті мүшелеріндегі азот пен күл элементтер концентрациясының динамикасын кестелерден көруге болады.

Кесте 4

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың жасыл массадағы азот және күл элементтерінің мөлшерлік динамикасы, % абс. құрғақ заттар

| Айлар | Химиялық элементтер | | | | | | | | | | Барлығы |
|-------|---------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|--------|---------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn | |
| V | 0,974 | 0,55 | 0,63 | 1,68 | 0,3 | 0,10 | 0,25 | 0,8 | 0,18 | 0,0212 | 5,48 |
| VI | 1,036 | 0,62 | 0,87 | 1,49 | 0,2 | 0,21 | 0,05 | 0,11 | 0,23 | 0,0208 | 4,7 |
| VII | 1,613 | 0,69 | 0,77 | 0,95 | 0,8 | 0,74 | 0,32 | 0,4 | 0,26 | 0,0307 | 5,97 |
| VIII | 0,779 | 0,97 | 1,5 | 0,86 | 0,5 | 0,63 | 0,48 | 0,2 | 0,36 | 0,0413 | 6,32 |
| IX | 0,478 | 1,12 | 1,3 | 0,67 | 0,7 | 0,42 | 0,17 | 0,2 | 0,6 | 0,11 | 5,77 |

Жер беті жасыл массасында вегетациялық кезең кезінде элементтер концентрациясы түрліше өзгерген. Көктемде калий концентрациясы, маусымда натрий, шілде де азот, магний, фосфор концентрациялары максимальды мәнге ие болған. Тамызда кальций, темір, марганец мөлшері жоғары болса, күзде кремний, хлор жоғарылаған. Кремний, кальций, фосфор мәні мамырда төмендеген. Маусымда магний мен хлор, темір, марганец концентрациясы азайған. Күзге таман азот, натрий концентрациясы аз (Кесте-4).

Тірі тамырда (Кесте-5) азот, калий, хлор мөлшері мамырда көп. Шілде айында магний мен фосфор концентрациясы максимальды. Кальций, марганец мөлшері тамызда жоғарылаған. Қыркүйек айында тірі тамыр құрамында кремний, темір, натрий элементтері басым. Жер асты мен жер беті фитомасса құрамындағы химиялық элементтер мөлшерін салыстыра қарасақ, кремний, магний, марганец мөлшері жер асты тірі тамырында жоғары, ал азот, кальций, калий, фосфор, темір, натрий, хлор концентрациясы керісінше төмен.

Кесте 5

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың тірі тамырдағы азот және күл элементтерінің мөлшерлік динамикасы, % абс.құрғақ заттар

| Айлар | Химиялық элементтер | | | | | | | | | | Барлығы |
|-------|---------------------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|-------|---------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn | |
| V | 1,00 | 0,99 | 0,9 | 0,8 | 0,44 | 0,26 | 0,09 | 0,02 | 0,1 | 0,112 | 4,71 |
| VI | 0,98 | 0,87 | 0,5 | 0,6 | 0,45 | 0,22 | 0,19 | 0,01 | 0,012 | 0,101 | 3,93 |
| VII | 0,94 | 1,2 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,39 | 0,15 | 0,04 | 0,07 | 0,076 | 5,16 |
| VIII | 0,78 | 1,00 | 1,07 | 0,2 | 0,62 | 0,31 | 0,25 | 0,03 | 0,08 | 0,129 | 4,47 |
| IX | 0,88 | 1,51 | 1,03 | 0,1 | 0,28 | 0,13 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,042 | 4,34 |

Қураған бөлімде (Кесте-6) калий, хлор мөлшерінің мамырда, азоттың маусымда, натрийдің шілде де максимальды көрсеткіші анықталды. Кальций, магний, фосфор,

темір концентрациясы тамызда, кремнийдің мөлшері қыркүйекте жоғары. Қураған бөлімде азот, кремний, фосфор, марганец мөлшері жоғары, қалған элементтер бірқалыпты. Төсеніште (Кесте-7) фосфор, натрий мөлшері мамырда жоғары, ал маусымда азот пен калий жоғарылаған. Марганец шілде айында көбейіпті де, ал тамызда кальций мен магний артқан. Қыркүйекте кремний, темір, хлор концентрациясы жоғарылаған. Азот, кремний, фосфор және хлор элементтерінің мөлшері қураған бөліммен салыстырғанда төсеніште аз, кальций мен темір мөлшері төсеніште көп. Ал қалған элементтердің мөлшері бірдей.

Кесте 6

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың қураған бөлімдегі азот және күл элементтерінің мөлшерлік динамикасы, % абс.құрғақ заттар

| Айлар | Химиялық элементтер | | | | | | | | | | Барлығы |
|-------|---------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|---------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn | |
| V | 0,64 | 0,81 | 0,53 | 0,94 | 0,11 | 0,30 | 0,10 | 0,044 | 0,10 | 0,047 | 3,62 |
| VI | 1,09 | 1,03 | 0,47 | 0,55 | 0,18 | 0,43 | 0,2 | 0,01 | 0,05 | 0,308 | 4,32 |
| VII | 0,52 | 1,11 | 0,75 | 0,58 | 0,25 | 0,6 | 0,17 | 0,04 | 0,07 | 0,011 | 4,12 |
| VIII | 0,41 | 0,96 | 0,98 | 0,51 | 0,30 | 0,67 | 0,25 | 0,03 | 0,12 | 0,021 | 4,25 |
| IX | 0,49 | 1,84 | 0,78 | 0,47 | 0,26 | 0,55 | 0,18 | 0,025 | 0,1 | 0,039 | 4,73 |

Кесте 7

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың төсеніштегі азот және күл элементтерінің мөлшерлік динамикасы, % абс. құрғақ заттар

| Айлар | Химиялық элементтер | | | | | | | | | | Барлығы |
|-------|---------------------|------|------|------|------|-------|------|--------|-------|-------|---------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn | |
| V | 0,3 | 0,87 | 1,05 | 0,57 | 0,13 | 0,238 | 0,97 | 0,0446 | 0,04 | 0,02 | 4,23 |
| VI | 0,92 | 0,95 | 1,04 | 0,85 | 0,17 | 0,112 | 1,05 | 0,0304 | 0,033 | 0,026 | 5,28 |
| VII | 0,57 | 0,91 | 0,96 | 0,74 | 0,26 | 0,116 | 0,01 | 0,025 | 0,025 | 0,034 | 3,65 |
| VIII | 0,43 | 1,09 | 1,76 | 0,32 | 0,39 | 0,134 | 1,23 | 0,01 | 0,027 | 0,02 | 5,41 |
| IX | 0,38 | 1,63 | 1,39 | 0,37 | 0,1 | 0,1 | 1,79 | 0,04 | 0,075 | 0,06 | 5,93 |

Өлі тамыр құрамында азот, кремний, калий, магний концентрациясы маусым айында жоғары болса, ал шілде айында фосфор мөлшері көбейген. Тамызда натрий, марганец мөлшері максималды мәнге ие болған. Кальций, хлор мен темір мөлшерлері қыркүйекте көбейген. Азот, кремний, кальций мөлшері тірі тамырмен салыстырғанда өлі тамырда жоғары. Қалған элементтердің мөлшері өлі тамырда төмен.

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың өлі тамырдағы азот және күл элементтерінің мөлшерлік динамикасы, % абс.құрғақ заттар

| Айлар | Химиялық элементтер | | | | | | | | | | Барлығы |
|-------|---------------------|------|------|------|------|-------|------|--------|-------|-------|---------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn | |
| V | 0,3 | 0,87 | 1,05 | 0,57 | 0,13 | 0,238 | 0,97 | 0,0446 | 0,04 | 0,02 | 4,23 |
| VI | 0,92 | 0,95 | 1,04 | 0,85 | 0,17 | 0,112 | 1,05 | 0,0304 | 0,033 | 0,026 | 5,28 |
| VII | 0,57 | 0,91 | 0,96 | 0,74 | 0,26 | 0,116 | 0,01 | 0,025 | 0,025 | 0,034 | 3,65 |
| VIII | 0,43 | 1,09 | 1,76 | 0,32 | 0,39 | 0,134 | 1,23 | 0,01 | 0,027 | 0,02 | 5,41 |
| IX | 0,38 | 1,63 | 1,39 | 0,37 | 0,1 | 0,1 | 1,79 | 0,04 | 0,075 | 0,06 | 5,93 |

Жер үсті фитомассасындағы химиялық элементтер мөлшері жер астындағы элементтер мөлшеріне қатынасталдауының (KG/KR, Кесте-9) көрсетуі бойынша калий, фосфор, натрий хлор концентрациясы жоғары. Жер үсті өлі мүшелер құрамындағы химиялық элементтер мөлшерінің жер үсті тірі мүшелердегі элементтер мөлшеріне қатынасында кремний, марганец көп, ал магний, темір аз. Өлі тамырдың тірі тамырдағы химиялық элементтер көлемі қатынасында азот пен кальций мөлшері жоғары.

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың әртүрлі блоктарындағы азот және күл элементтерінің салыстырмалы мөлшері

| Блок | Химиялық элементтер | | | | | | | | | |
|-------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | N | Si | Ca | K | Mg | P | Fe | Na | Cl | Mn |
| KG/KR | 1,07 | 0,70 | 1,22 | 2,40 | 0,75 | 1,61 | 1,25 | 1,08 | 3,75 | 0,27 |
| KD/KG | 0,64 | 1,45 | 0,67 | 0,54 | 0,55 | 1,21 | 0,72 | 0,55 | 0,3 | 1,16 |
| KL/KD | 0,82 | 0,95 | 1,8 | 0,93 | 0,95 | 0,27 | 6,72 | 1,0 | 0,44 | 1,10 |
| KV/KR | 1,26 | 1,22 | 1,29 | 0,96 | 0,55 | 0,73 | 1,05 | 0,6 | 0,75 | 1,13 |
| IX | 0,38 | 1,63 | 1,39 | 0,37 | 0,1 | 0,1 | 1,79 | 0,04 | 0,075 | 0,06 |

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың вегетациялық кезең кезінде химиялық элементтер мөлшерінің динамикасы талдауының көрсетуі бойынша калий, темір, натрий және хлор концентрациясы жер үсті жасыл масса құрамында жоғары екен. Магний мөлшері жер асты тірі тамыр құрамында ұлғайған. Фосфор құраған бөлімде басым. Төсеніш құрамында кальций мөлшері жоғары болса, ал өлі тамырда азот, кремний, кальций және марганец мөлшері көбірек [14].

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастықтың жасыл массадағы азот және күл элементтерінің қатары:

| K | Ca | N | Si | P | Mg | Cl | Fe | Na | Mn |
|------|------|-------|------|------|-----|------|------|-------|-------|
| 1,13 | 1,04 | 0,976 | 0,79 | 0,42 | 0,4 | 0,30 | 0,25 | 0,054 | 0,025 |

Бұл қауымдастыққа кальций-калийлі биологиялық айналым типі тән, серіктес элементтері азот пен кремний. Фосфор ионы бесінші орында болса, ал магний жеткілікті, ал хлор ионы шамадан тыс жоғарырақ, бұған себеп Лерха жусаны болса керек. Зерттеулеріміздің қорытындыларын О.М. Грищенконың шамаларымен салыстырсақ, азот, кальций, кремний және фосфор мөлшерінің жасыл массада төмендеуі, ауыл шаруашылық жүктемесінің көп болуы салдарынан туындаған.

Қорытынды

Құрғақ климаттық жағдайда орынсыз пайдалану өсімдік жамылғысына деградация үрдісін тудырып, аймақты шөлейттендіруге әкеледі [11]. Зерттелген аймақта бұл үрдістің индикаторы ретінде: биологиялық өнімділіктің төмендеуі; түрлер әртүрлілігінің азаюы; өсімдік қауымдастығы құрылымының тұрпайылануы; топырақта қара шірік мөлшерінің азаюы; азот және күл элементтер типінің өзгеруі; топырақта да, өсімдікте де тез ерігіш тұздар мөлшерінің жоғарылауы анықталды.

Бетегелі-лерха жусанды қауымдастыққа орташа шөлейттенген, орташа дигрессиялық деңгей тән. Бұл қауымдастықта түр алуандығының 70%-ға дейін азаюы байқалып, мал азықтық маңызы бар өсімдіктер *Festuca valesiaca*, *Stipa lessingiana*, *Artemisia lerchiana* төмендеп, орнына жайлап мал азықтығы жағынан нашар желінетін және желінбейтін *Artemisia abrotanum*, *Butomus umbelatus*, *Carex acuta* және т.б. алмастырған.

Бұл қауымдастықтарды тиімді пайдаланудың нәтижесінде қайтадан қалпына келтіруге болады. Өсімдік және топырақ жамылғысының қазіргі жағдайы табиғатты қорғауға дұрыс көңіл бөлуді қажет етеді. Мал азықтық және жайылымдық маңызы бар өсімдіктер қауымдастықтарынан жоғары сапалы шөп алу үшін ең маңызды жағдай бұл шөп шабудың мезгілі. Шөп шабу мезгілі мал азықтық маңызы бар түрлердің фенологиялық фазасы есебімен анықталу керек. Шөпті ерте шабу, астық тұқымдастарының масақтануы кезінде тиімсіз, ол кейінгі жылдары ботаникалық құрамды төмендетіп, өнімділікті азайтты. Шөпті кеш шабу, астық тұқымдастарының жеміс беру фазасында әсері күшті, бірақ дей тұрғанмен де мұндай жағдай арам шөптердің таралуын тудырады.

Сондықтан жыл сайын астық тұқымдастарды гүлдеу фазасының басында шауып, ал 3-4 жылда 1 рет тұқымның пісуі фазасында шапқан дұрыс.

Өсімдік жамылғысын қалпына келтірудің тағы бір негізгі факторы судың басуы. Судың жер бетінде тұру ұзақтығы, келу мерзімі және жылда су басу режимінің қайталануы маңызды. Жазғы су басу зиян, себебі мал азықтық маңызы бар астық тұқымдастардың түрлері жойылып, батпақ түзіледі. Күзгі су басу да жағдайды

төмендетеді. 5-6 жыл сайын қатар су басу өсімдіктердің тамырларын өзгеріске ұшыратады, астық тұқымдастары азайып, қияңөлең, көл қоғажайы тарала бастайды. Табиғи жайылымдарда шөп шабуға тиым салу қауымдастықтағы өнімділікті қалпына келтірудің бірден-бір жолы [15,16].

Мүдделер қақтығысы

Біз мүдделер қақтығысының жоқтығын жариялаймыз.

Авторлардың қосқан үлесі

Тұжырымдаманы әзірлеу – Д.Т. Утеулиева, Б.С. Альжанова

Орындау – Д.Т. Утеулиева, Ж.М. Ихласова

Нәтижелерді өңдеу – А.С. Бисенгазиева, Ж.М. Ихласова, Б.Ж. Джангазиева

Нәтижелерді ғылыми түсіндіру – Д.Т. Утеулиева, Б.С. Альжанова, Б.Ж. Джангазиева

Мақала жазу – Д.Т. Утеулиева

Бұл материал бұрын жарияланбаған және басқа баспаларда қаралмағанын мәлімдейміз.

Әдебиеттер тізімі

1. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность основных типов растительности. Докл. АН СССР. – 1964. – Т. 157. - №1. – С. 215-218.
2. Базилевич Н.И. Малый биологический круговорот зольных веществ и азота при лугово-степной и степном почвообразованиях // Почвоведение. – 1958. – №12. – С. 9-27.
3. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Об биологической продуктивности растительного покрова // Проблемы современной ботаники. – 1965. – Т.1. – С. 237-242.
4. Рачковская Е.И., Огарь Н.П. Изменение биоразнообразия степной растительности под воздействием эрозионных процессов // Степи Евразии: матер. международного симпозиума. – Оренбург, РАН-Уральское отд., 1997. –С. 51-55.
5. Дарбаева Т.Е., Альжанова Б.С., Бохорова С.Н. Өсімдіктер қауымдастығын зерттеу әдістемесі (оқу-әдістемелік құралы). – Орал: М. Өтемісов атындағы БҚМУ редакциялық баспа орталығы, 2018. – 228 б.
6. Kelley J.M., Van Dyne G.M., Harris W.E. Comparison of three methods of assessing grassland productivity and biomass dynamics-The Amer Midland Naturalist. – 1974. – Vol. 92, No 2. – P. 182-191.
7. Дарбаева Т.Е., Чукалина О.Н. Флористическое разнообразие степных ландшафтов левобережья реки Урал в пределах Западно-Казахстанской области // Вопросы степеведения. – 2010. – Вып. 8. – С. 181-183.
8. Мендыбаев Е.Х., Атаева Г.М. Характеристика почвенного покрова степной зоны Северного Прикаспия // Степи Северной Евразии: материалы пятого международного симпозиума. – Оренбург, 2009. – С. 133-136.
9. Мендыбаев Е.Х. Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe Geochemical researches of region soil with technogenic influence in terms of Borlinskiy region, west Kazakhstan. Oxidation Communications 38. – 2015. – No 4. – P. 1933-1941.

10. Кайсағалиева Г.С. Динамика продуктивности основных сообществ комплексных степей Урало-Кушумского междуречья // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: материалы международной конференции. – Оренбург, 2001. – С. 107-108.
11. Фартушина М.М. Процессы опустынивания и их индикаторы в Западно-Казахстанской области // Экосистемы Зап. Казахстана (Ивановские чтения). – Уральск, 1999. – С. 71-91.
12. Дарбаева Т.Е., Жумагазиева А.Б., Рамазанова Н.Е. Современное состояние флоры Северного Прикаспия по материалам В.В. Иванова // Вестник Семипалатинского государственного университета имени Шакарима. – 2015. – №4(72). – С. 104 - 108.
13. Меңдыбаев Е.Х. Современное состояние и продуктивность растительности пустынно-степного комплекса Северного Прикаспия: монография – Актобе, 2015. – 150 с.
14. Атаева Г.М. Сезонная динамика биологической продуктивности основных ассоциаций степей Западного Казахстана: монография. – Актобе, 2016. – 152 с.
15. Бижанова Г.К. Сохранение разнообразия псаммофитной растительности и их охрана // Экология и рациональное природопользование на рубежа веков. Итоги и перспективы: матер, межд. конф. Т. 1. – Томск, 2000. – С. 80-81.
16. Аралбаев Н.К. О трансформации флор и проблемы сохранения и восстановления разнообразия флоры степей и пустынь Казахстана // Вестник КазГУ, серия биологическая. – 1998. – №1. – С. 34-37.

Д.Т. Утеулиева, Б.С. Альжанова, А.С. Бисенгазиева, Ж.М. Ихласова, Б.Ж. Джангазиева
Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан

Процесс продуктивности типчаково-лерхопопынного сообщества *(Artemisia lerchiana, Festuca valesiaca)*

Аннотация. В статье приведены результаты исследования продуктивности в типчаково-лерхопопынном сообществе (*Artemisia lerchiana, Festuca valesiaca*), интенсивности продуктивно-деструктивных процессов и биологического круговорота азота и зольных элементов в растительно-почвенной системе в соответствии с принятой на международном уровне биологической программой. Исследуемая зона расположена в северо-восточной части Приуральского плато в Шелекском районе Западного Казахстана в слабоволнистой умеренно-сухостепной зоне с уклоном к долине реки Илек в балке Кончубай с темно-каштановыми карбонатно-солончаковыми почвами. Исследуемые сообщества имеют важное значение в пастбищном и кормовом хозяйстве. Но в последнее время под влиянием антропогенных факторов в растительных сообществах происходят изменения растительного и почвенного покрова, снижается видовое разнообразие растений и биологическая продуктивность, изменяется круговорот химических элементов, в результате ценные кормовые растения заменяются сорными травами. Типчаково-лерхопопынное сообщество подвержено средней степени процессам опустынивания и дигрессии. В данном сообществе видовое разнообразие сокращено до 70%, снижается количество ценных видов в кормовом отношении и заменяются мало ценными и вредными растениями. В результате эффективного использования данных сообществ их можно восстановить.

Ключевые слова: сообщество, зеленая масса, ветошь, подстилка, азот и зольные элементы.

D.T. Uteulieva, B.S. Alzhanova, A.S. Bisengazieva, Zh.M. Ikhlasova, B.Z. Jangaziyeva
M. Utemisov West Kazakhstan University, Ural, Kazakhstan

**The process of productivity in the community of common fescue-lerh wormwood
(*Artemisia lerchiana*, *Festuca valesiaca*)**

Abstract. The article presents the results of the study in accordance with the internationally accepted biological program of productivity, intensity of productivity-destructive processes and biological cycle of nitrogen and ash elements in the plant-soil system in the community of common Fescue-Lerh Wormwood (*Artemisia lechiana*, *Festuca valesiaca*). The studied area is located in the northeastern part of the Ural plateau in the Shelek district of Western Kazakhstan in a slightly undulating temperate dry-steppe zone with a slope to the valley of the Elek River in the Konchubai gully with dark chestnut carbonate-saline soils. The communities in the studied area are very important in pasture and forage farming. But under the influence of recent anthropogenic factors, vegetation and soil cover in plant communities are undergoing changes, the diversity of plant species is decreasing, biological productivity is decreasing, the circulation of chemical elements is changing, and plants of forage importance are being replaced by weevils. The community of common Fescue-Lerh Wormwood is characterized by moderate desertification, moderate digression. This community has decreased to 70% of the species diversity, and plants of forage importance have declined and have been slowly replaced by plants that are poor in feed. As a result of the effective use of this community can be restored.

Keywords: community, green mass, withered section, covering, nitrogen and ash element.

References

1. Rodin L.E., Bazilevich N.I. Biologicheskaya produktivnost' osnovnyh tipov rastitel'nosti. Dokl. ANSSSR [Biological productivity of the main types of vegetation. Dokl. ANSSSR], 157(1), 215-218 (1964). [in Russian]
2. Bazilevich N.I. Malyy biologicheskij krugovorot zol'nyh veshchestv i azota pri lugovo-stepnoj i stepnom pochvoobrazovanij, Pochvovedenie [Small biological cycle of ash substances and nitrogen in meadow-steppe and steppe soil formation, Pochvovedenie], 12, 9-27 (1958). [in Russian]
3. Rodin L.E., Bazilevich N.I. Ob biologicheskoy produktivnosti rastitel'nogo pokrova, Problemy sovremennoj botaniki [On biological productivity of vegetation cover, Problems of modern botany], 1, 237-242 (1965). [in Russian]
4. Rachkovskaya E.I., Ogar' N.P. Izmenenie bioraznoobraziya stepnoj rastitel'nosti pod vozdejstviem erozionnyh processov, Stepi Evrazii Mater. Mezhdunarodnogo simpoziuma. Orenburg, RAN-Ural'skoe otd. [Changing the biodiversity of steppe vegetation under the influence of erosion processes, Steppes of Eurasia Mater. International Symposium. Orenburg. RAS-Ural Branch], 51-55 (1997). [in Russian]
5. Darbaeva T.E., Al'zhanova B.S., Bohorova S.N. Osimdikter kauymdastygyn zertteu adistemesi (oku-adistemelik quraly) [Methodology of studying plant communities (educational and methodological manual)] (Oral, M. Otemisov atyndagy BKMU redakciyalyk baspa ortalygy, 2018,

228 б.) [Uralsk, editorial publishing center of WKSU named after M. Utemisov, 2018, 228 p.]. [in Kazakh]

6. Kelley J.M., Van Dyne G.M., Harris W.E. Comparison of three methods of assessing grassland productivity and biomass dynamics-The Amer Midland Naturalist, 92(2), 182-191 (1974).

7. Darbaeva T.E., Chukalina O.N. Floristicheskoe raznoobrazie stepnyh landshaftov levoberezh'ya reki Ural v predelakh Zapadno-Kazahstanskoj oblasti, Voprosy stepovedeniya [Floristic diversity of steppe landscapes of the left bank of the Ural River within the West Kazakhstan region, Questions of steppe studies], 8, 181-183 (2010). [in Russian]

8. Mendybaev E.H., Ataeva G.M. Harakteristika pochvennogo pokrova stepnoj zony Severnogo Prikaspiya, Sb Stepj Severnoj Evrazii, materialy pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma, Orenburg [Characteristics of the soil cover of the steppe zone of the Northern Caspian In. Sb Steppes of Northern Eurasia, proceedings of the fifth International Symposium, Orenburg], 133-136 (2009). [in Russian]

9. Mendybaev E.H. Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe Geochemical researches of region soil with technogenic influence in terms of Borlinskiy region, west Kazakhstan. Oxidation Communications 38, 4, 1933-1941 (2015).

10. Kajsagalieva G.S. Dinamika produktivnosti osnovnyh soobshchestv kompleksnyh stepej Uralo-Kushumskogo mezhdurech'ya, Bioraznobraziya i bioresursy Urala i sopredel'nyh territorij. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, Orenburg [Dynamics of productivity of the main communities of the complex steppes of the Ural-Kushum interfluv. Biodegradation and bioresources of the Urals and adjacent territories. Materials of the International Conference, Orenburg], 107-108 (2001). [in Russian]

11. Fartushina M.M. Processy opustynivaniya i ih indikatory v Zapadno-Kazahstanskoj oblasti, Ekosistemy Zap. Kazahstana (Ivanovskie chteniya) [Desertification processes and their indicators in the West Kazakhstan region, Ecosystems of Zap. Kazakhstan (Ivanovo readings)] (Uralsk, 1999, 71-91 s.). [in Russian]

12. Darbaeva T.E., ZHumagazieva A.B., Ramazanova N.E. Sovremennoe sostoyanie flory Severnogo Prikaspiya po materialam V.V. Ivanova, Vestnik Semipalatinskogo gosudarstvennogo universiteta imeni SHakarima [The current state of the flora of the Northern Caspian Sea based on the materials of V.V.Ivanov, Bulletin of Semipalatinsk State University named after Shakarim], 4(72), 104-108 (2015). [in Russian]

13. Mendybaev E.H. Monografiya «Sovremennoe sostoyanie i produktivnost' rastitel'nosti pustynno-stepnogo kompleksa Severnogo Prikaspiya» [Monograph «The current state and productivity of vegetation of the desert-steppe complex of the Northern Caspian Sea»] (Aktobe, 2015, 150 s.). [in Russian]

14. Ataeva G.M. Monografiya «Sezonnaya dinamika biologicheskoy produktivnosti osnovnyh asociacij stepej Zapadnogo Kazahstana» [Monograph «Seasonal dynamics of biological productivity of the main associations of the steppes of Western Kazakhstan»] (Aktobe, 2016, 152 s.). [in Russian]

15. Bizhanova G.K. Sohranenie raznobraziya psammofitnoj rastitel'nosti i ih ohrana, Mater. mezhd. konf. «Ekologiya i racional'noe prirodnopol'zovanie na rubezha vekov. Itogi i perspektivy» T. 1. Tomsk [Preservation of the diversity of psammophytic vegetation and their protection. Material inter. conf. «Ecology and rational nature management at the turn of the century. Results and prospects». Vol. 1. Tomsk], 80-81 (2000). [in Russian]

16. Aralbaev N.K. O transformacii flor i problemy sohraneniya i vosstanovlenie raznoobraziya flory stepej i pustyn' Kazahstana, Vestnik KazGU, seriya biologicheskaya [On the transformation of flora and the problems of preserving and restoring the diversity of flora of the steppes and deserts of Kazakhstan, Herald KazGU biological series], 1, 34-37 (1998). [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Утеулиева Д.Т. – биология ғылымдарының кандидаты, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Назарбаева көш, 162, Орал, Қазақстан.

Альжанова Б.С. – ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Назарбаева көш, 162, Орал, Қазақстан.

Бисенгазиева А.С. – биология магистрі, аға оқытушы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Назарбаева көш, 162, Орал, Қазақстан.

Ихласова Ж.М. – аға оқытушы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Назарбаева көш, 162, Орал, Қазақстан.

Джангазиева Б.Ж. – аға оқытушы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Назарбаева көш, 162, Орал, Қазақстан.

Uteulieva D.T. – Candidate of Biological Sciences, M. Utemisov West Kazakhstan University, 162 Nazarbayev Str., Uralsk, Kazakhstan.

Alzhanova B.S. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, M. Utemisov West Kazakhstan University, 162 Nazarbayev Str., Uralsk, Kazakhstan.

Bisengazieva A.S. – Master of Biology, Senior Lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, 162 Nazarbayev Str., Uralsk, Kazakhstan.

Ikhlasova Zh.M. – Senior lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, 162 Nazarbayev Str., Uralsk, Kazakhstan.

Dzhangazieva B.Zh. – Senior lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, 162 Nazarbayev str., Uralsk, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.29.35

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-55-75>

Бурабай бағының лихенофлорасындағы *Cladonia* түрлерін зерттеу

Ж.Т. Букабаева*^{ID}, Б.М. Силыбаева^{ID}, А.М. Ахметжанова^{ID}, А.Н. Ануарбекова^{ID}

Alikhan Bokeikhan University, Семей, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: zhanilxan79@mail.ru

Андатпа. Бурабай ұлттық бағының лихенофлорасын зерттеу жұмыстары 2018-2022 жылдары көктем, жаз, күздің соңғы мезгілдерінде маршрутты экспедиция арқылы жүргізілді. Ғылыми зерттеу жұмысының мақсатына байланысты ұлттық бақ 11 учасқокқа бөлініп зерттелді. Зерттеу объектісі ретінде алынған қына түрлерін карталау схемасын қолдану әдісі арқылы Cladoniaceae тұқымдасының 18 түрі алынған 11 учасқоктың тек 7 учасқокінде ғана өсетіндігі анықталды. Бұлардың арасында *Cladonia fimbriata*, *C. pyxidata*, *C. Cenotea*, *C. tenuis*, *C. sulvatica*, *C. gracilis*, *C. alpestris* түрлері картада бірнеше учасқоктарда кездесуіне байланысты белгіленді. Маршрутты зерттеу кезінде қына түрлерінің кездесу жиіліктері, экологиясы, тіршілік формасы және көбею ерекшеліктері қарастырылды. Кладония түрлерін анықтауда анықтағыштармен қатар, сканерлік электронды микроскоп (JSM) қолданылды. Кладония тұқымдасына жататын 18 кладония түрлерінің арасында Коккифера кладониясы (*Cladonia coccifera*) зерттеу учасқоктарының арасында Золотобор учасқокінде бірнеше дарақтары ғана кездесті. Осыған байланысты Коккифера кладония түрі Бурабай ұлттық бағының аумағында кездесу жиілігі өте төмен және қорғауды қажет ететін түр ретінде алынды. Бурабай бағының осы аймақта қоныстанған эпигейлі Алпестрис кладония (*Cladonia alpestris*) түрі подецияларының үлкен аумақтарға таралып өсуіне байланысты, осы туысқа жататын басқа түрлермен салыстырғанда ұлттық бақтың барлық учасқоктарында дерлік өсетіндігі анықталды. Бұл олардың подеция талломаларының топырақ бетінде бос орналасуы *Cladonia alpestris* түрінің негізінен вегетативтік жолдарымен көбею ерекшеліктеріне байланысты екендігін көрсетті. Осыған орай Алпестрис кладониясы (*Cladonia alpestris*) Бурабай ұлттық бағында өсетін кладонияның басқа түрлерімен салыстырғанда доминантты түр ретінде қарастырылды.

Түйін сөздер: Бурабай ұлттық бағы, лихенофлора, Кладония тұқымдасы, Кладония түрлері.

Кіріспе

Жер бетіндегі өсімдіктер арасында, қыналар – төменгі сатыдағы өсімдіктердің ішіндегі көп таралған, күй талғамайтын, ерекше құрылысты организмдер тобы. Табиғатта барлық қына түрлері көптеген тірі ағзалардың негізгі қорегі болып саналады [1, 2, 3, 4].

Құрамындағы әртүрлі химиялық активті заттардың мөлшеріне байланысты, қынаның кейбір түрлері дәрілік өсімдіктер (*Peltigera canina*, *Labaria pulmonaria*, *Xanthoria parietina*) ретінде пайдаланылады. Қынаның барлық түрлерін қазақтар жүн, тері, асық және т.б. заттарды бояуда қолданаған. Бұлардың белгілі бір түрлерінен витаминдер, хош иісті заттар алынады. Қыналардың биоиндикациялық рөлі олардың аккумуляциялық қабілетіне яғни ауадағы, топырақтағы ластаушы заттарды өзіне сіңіріп жинақтауына байланысты болады. Қазіргі таңда қына талломының құрамындағы бионттардың бір-біріне тигізетін әсері мен байланыстылығына қатысты жүргізілген зерттеу жұмыстарымен олардың қорытындылары туралы деректер көптеген ғылыми еңбектерде жарияланған [5,6,7].

Қына түрлерінің анатомиялық құрылысына байланысты жүргізілген зерттеу жұмыстарында эпигейлі *Cladonia* туыс өкілдеріндегі фотобионттарының орналасу ерекшеліктері көрсетілген. Тайга мен далалық аймақта өсетін қына түрлерінің морфологиялық көрсеткіштері ретінде клеткаларының мөлшері, формасы, хроматофорасы және т.б. микроскопиялық құрылысы анықталған. Эпифитті қына сынамасымен салыстырғанда, эпиксильді сынамадағы микобионттардың гиф диаметрлерінің ұзындық айырмашылықтары берілген [8, 9]. Қынаның химиялық құрамына байланысты зерттеу жұмысында фосфор мен күкірттің өте жоғары мөлшері және магний, барий және т.б. элементтерінің төмен концентрациясы олардың тіршілік ұзақтығы мен өсу ортасына тікелей байланысты екендігі көрсетілген [10, 11]. Қазіргі кезеңдегі ең үлкен проблемалардың қатарына, кез келген өндіріс орындарынан тонналап түзілетін қалдықтардың қоршаған ортаға тигізетін зиянды жақтарын зерттеу жатады. Мысалы, бұрғылау жұмыстарынан түзілген қалдықтарда қоныстанған бірнеше өсімдіктер арасынан *Cladonia alpestris* және *Cetraria delisei* қыналарының индикаторлық маңызы берілген [12, 13, 14].

Қазақстан территориясы өте үлкен аумақты алып жатқанымен, соңғы ұзақ жылдар бойы қына түрлерінің флорасын зерттеуге байланысты жүргізілген ғылыми зерттеу жұмыстары өте шектеулі. Қазақстан флорасында Е. А. Андрееваның «Флоры споровых растений Казахстана» атты 11 томдық анықтағыштың соңғы томы қына түрлерін анықтауға арналған негізгі ғылыми еңбектердің қатарына жатады. Бұл анықтағышта Қазақстанның барлық аймақтарында таралған 17 тұқымдас, 26 туысқа жататын 127 қына түрі қамтылған [15]. Соңғы кезде осы бағытта нақтылы жүргізілген зерттеу жұмыстарының қатарына Орталық Қазақстанның Қарқаралы-Қызылорай ұсақ шоқылы таулы жерлерінде таралған 292 қына түрі анықталған жұмысты жатқызуға болады. Олардың субстратқа байланысты қоныстануы, өсімдіктер бірлестіктерінде қына синузиясы, экологиялық топтары берілген. Зерттеу деректерінде қынаның

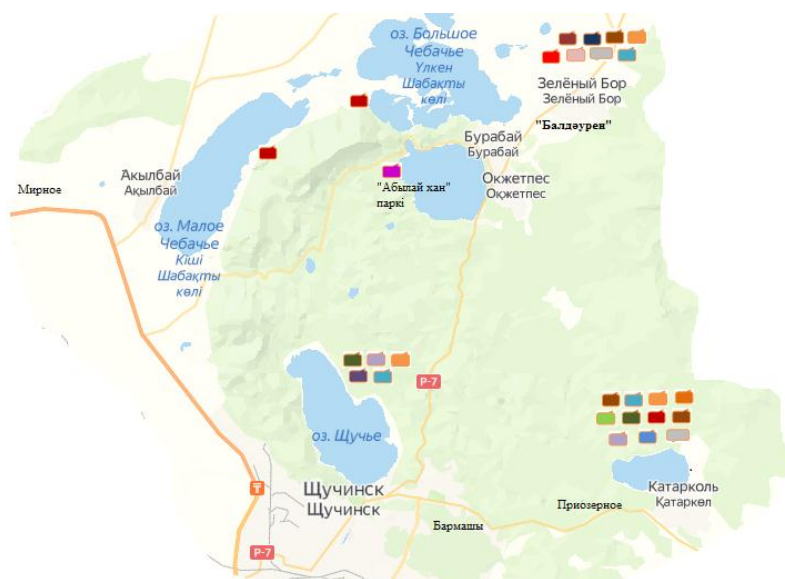
қоршаған ортасымен байланысы нақты айқындалған [16,17,18]. Сол сияқты Солтүстік Қазақстандағы ұлттық «Бурабай» паркінде өсетін *Cladonia rangiferina*(L) қынасын сирек кездесетін түр ретінде көрсеткен ғылыми еңбекті де жатқызуға болады [19]. Осыған орай, Бурабай бағының лишенофлорасына 2018-2022 жылдары маршрутты экспедиция арқылы зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты мен міндеттері ретінде Бурабай ұлттық бағының лишенофлорасының доминантты түрлері ретінде алынған *Cladoniaceae* тұқымдасының, *Cladonia* туысына жататын түрлердің белгілі учасоктарда таралуы, кездесу жиіліктері, экологиясы, көбею жолдары мен түрлердің биологиялық ерекшеліктері қарастырылды.

Зерттеу нысаны және әдістері

Ұлттық бақтың зерттеуге алынған аймақтарының схемалық – картасы, қына түрлерінің таралу жиілігі мен экологиясына қатысты ерекшеліктерін зерттеу геоботаникалық, флористикалық салыстырмалы әдістерді қолдану арқылы жүргізілді. Бұрабай бағында өсетін кладония туысына жататын барлық түрлерді идентификациялау үшін, яғни олардың құрылысын, әсіресе көбею жолдарын айқын көрсету үшін электронды сканерлі микроскоп (JSM) қолданылды.

Бурабай мемлекеттік бағының жер аумағын 11 учасокқа бөлу арқылы жүргізілген ғылыми зерттеу жұмысы кезінде 16 тұқымдас, 23 туысқа біріктірілген 56 қына түрінің коллекциялары жинақталып анықталды. Жұмыстың мақсаты мен міндеттеріне сәйкес осы 56 түрдің арасында *Cladoniaceae* тұқымдасының кладония туысына жататын 18 түрлерінің биологиялық және экологиялық ерекшеліктері қарастырылады.

Бурабай бағында жүргізілген зерттеу жұмысында анықталған қына түрлері мен таралу жиілігі, олардың қоныстанған учасоктарына байланысты схемалық карта түрінде ұсынылды (1-сурет)



Сурет 1. Зерттеуге алынған Бурабай бағы учасоктарының карта схемасы

Бақтың зерттелген учасоктарында инфроқұрылымдар мен туризмнің дамуы және орман шаруашылығымен айналысатын үлкенді-кішілі елді мекендердің болуына қарамастан, қына түрлері биотоптарының арасында салыстырмалы түрде Кладония саны жағынан ең басым түр ретінде қарастырылды. Зерттеуге алынған учасоктардың схемалық – картасында анықталған қына түрлерінің нақтылы қоныстану нүктелері айқындалды. Яғни схема түрінде карталаудың тиімділігі, бір түрдің қанша учасоктарда қоныстануын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеуге алынған 11 учасоктың тек 7 учасоғында ғана Кладония түрінің қоныстануы карта схемасына сәйкес жүргізілді (1- сурет, 1 кесте). Бурабай бағы учасоктарында таралған кладония түрлерінің сараптамасына сәйкес, ең көп түрлер Қатаркөл, Золотобор, Щучьеда өскен. Қалған учасокторда кладонияның бір, екі түрі ғана өсетіндігі айқындалды.

Кесте 1

Cladonia түрлерінің Бурабай бағының әртүрлі учасоктарында қоныстануы

| Реті | Қына | Қатаркөл | Үлкен шар-бақты | Кіші шар-бақты | Щучье | Золото-бор | Абы-лайхан | Балдәурен |
|------|-----------------------|----------|-----------------|----------------|-------|------------|------------|-----------|
| 1 | Cladonia fimbriata | + | | | | + | | |
| 2 | Cladonia gracilis | + | | | | + | | |
| 3 | Cladonia sulvatica | | + | + | | | | |
| 4. | Cladonia rangiferina | + | | | | | | |
| 5 | Cladonia coccifera | | | | | | + | |
| 6 | Cladonia verticillata | + | | | | | | |
| 7. | Cladonia deformis | | | | | + | | |
| 8 | Cladonia crispata | | | | | + | | |
| 9. | Cladonia cornuta | | | | | + | | |
| 10 | Cladonia coniocraea | | | | | + | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----------------------------|---|--|--|---|---|---|---|
| 11. | <i>Cladonia alpestris</i> | + | | | + | + | + | + |
| 12. | <i>Cladonia pyxidata</i> | + | | | + | | | |
| 13. | <i>Cladonia strepsilis</i> | | | | + | | | |
| 14. | <i>Cladonia cenotea</i> | + | | | + | + | | |
| 15. | <i>Cladonia tenius</i> | + | | | + | | | |
| 16. | <i>Cladonia alpicola</i> | + | | | | | | |
| 17. | <i>Cladonia turgida</i> | + | | | | | | |
| 18. | <i>Cladonia rangiformis</i> | + | | | | | | |

Зерттеу учасқтарында қына түрінің таралу аймақтары, экологиялық топтары және кездесу жиіліктері Друде шкаласы бойынша жүргізілді. Бурабай бағында өсетін Кладония түрлерінің барлық түрі Друде шкаласы бойынша кездесу жиілігі өте жоғары қыналар тобын құрады. Бұлардың арасында тек Абылайхан учасқінде ғана 1-2 дарақтан кездескен Коккифера кладония (*Cladonia coccifera*) түрі осы аймақта кездесу жиілігі өте төмен, қорғауды қажет ететін түр ретінде анықталды. Кладониялардың тіршілік формасы талломаларының горизонтальді және вертикальді түрде түзілуімен және бірінші реттік горизонтальді талломалары субстраттарында ерте жойылуымен немесе сақталуымен ерекшеленеді. Осыған байланысты бұлардың бұталы түрлерімен қоса, қабыршақты-бұталы түрлерін жеке бөліп қарастырады.

Кесте 2

«Бурабай» мемлекеттік ұлттық табиғи бағында өсетін *Cladonia* түрлерінің биологиялық ерекшеліктері

| Туысы | Кездесу жиілігі | Тіршілік формасы | Экологиясы | Көбею жолдары |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|------------|---------------|
| Тұқымдасы – Cladoniaceae | | | | |
| Туысы <i>Cladonia</i> | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 1. <i>Cladonia fimbriata</i> | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 2. <i>Cladonia gracilis</i> | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 3. <i>Cladonia sulvatica</i> | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 4. <i>Cladonia rangiferina</i> | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 5. <i>Cladonia coccifera</i> | Un | Қабыршақты -бұталы | Эпигейлі | Апотеция |

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------|----------|-------------------|
| 6. Cladonia verticillata | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 7. Cladonia deformis | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 8. Cladonia crispata | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 9. Cladonia cornuta | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Соридий, апотеция |
| 10. Cladonia coniocraea | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпифитті | Соридий, апотеция |
| 11. Cladonia alpestris | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Вегетативті |
| 12. Cladonia pyxidata | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпифитті | Апотеция |
| 13. Cladonia strepsilis | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 14. Cladonia cenotea | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 15. Cladonia tenius | Soc | Қабыршақты-бұталы | Эпифитті | Апотеция |
| 16. Cladonia alpicola | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 17. Cladonia turgida | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |
| 18. Cladonia rangiformis | Soc | Бұталы | Эпигейлі | Апотеция |

Ескерту: Друде шкаласына сәйкес Socialis (Soc) түр дарақтары саны жағынан көп, Unicum (Un) бір – екі дарақтардан ғана кездеседі.

Зерттеу нәтижелерін талқылау

Анықталған 18 кладонияның 11 түрі (61,1%) қаспақты-бұталы, ал қалған 7 түрі (38,9 %) бұталы түрлерге біріктірілді. Бұл учасқтарда өскен Кладонияның экологиялық топтарына сәйкес 18 түрдің тек 3 (16,7%) түрі ғана эпифитті түрлер болса, қалған 15 (83,3%) түр эпигейлі яғни тек топырақ бетінде қоныстанған түрлер (2-кесте, 1-диаграмма). Қына түрінің жер бетінде таралуы олардың көбею жолдарына тікелей байланысты екендігі белгілі. Зерттеу кезінде Бурабай бағында жинақталған қына түрлерін анықтауда әртүрлі анықтағыштармен қатар, морфологиялық құрылысын нақтылау немесе идентификациялауда сканерлік электронды микроскоп (JSM) пайдаланылды.

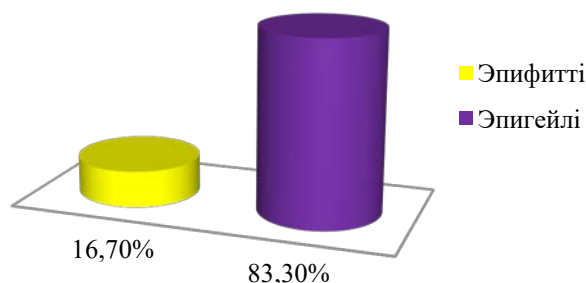


Диаграмма 2. Бурабай бағының әртүрлі учасқтарында өскен Кладония түрлерін экологиясына байланысты топтастыру

Сканерлеу кезінде барлық қына түрлерінің көбею жолдарына айрықша көңіл бөлінді, әсіресе олардың апотеций, перитеций, соридийлері мен изидийлерінің орналасуы және құрылысы нақты айқындалды. Бурабайдың белгілі аймақтарында өсетін кладонияның 15 (83,3%) түрі аптоциялары арқылы жынысты көбейетін, 2 (11,1%) түрі жынысты – вегетативті, ал 1 (11,1%) түрі тек вегетативтік түрде көбейетін қына түрлерін құрады. Бұл көрсеткіштер нақтылы сканерлік микроскоп арқылы алынған мәліметтерге сүйене отырып жасалды. Бірақ табиғатта кез келген қыналар қоршаған орта жағдайына байланысты жынысты, жыныссыз және вегетативтік түрде көбейе алатындығы белгілі.

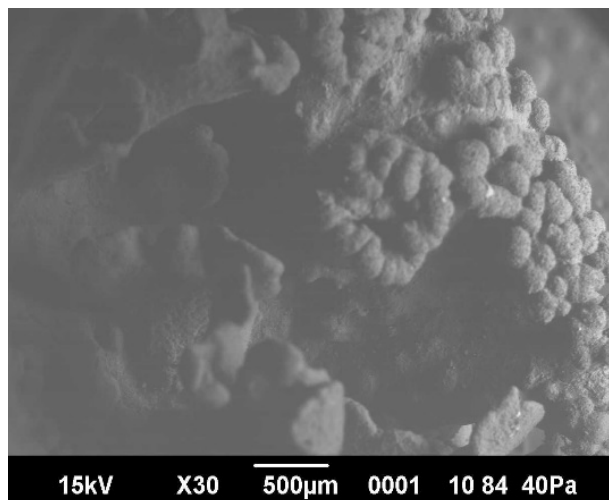
Cladonia alpestris түрінің подециялары өте қалың бұтақтанған және жан-жаққа тармақтала жайылып, үлкен аумақтарға таралып өседі. Кладонияның басқа түрлерімен салыстырғанда Кіші және Үлкен шабақты учасоктарынан басқа барлық учасокта өсетін доминантты түр ретінде қарастырылды. Сонымен қатар, бұл түрдің апотецийлері мен соридийлерінің аз мөлшерде түзілуіне қарамастан, зерттеу аймақтарындағы топырақ бетінде бастау орналасқан бұтақты-тармақталған талломаларының бөлінуі арқылы өте көп мөлшерде вегетативтік жолмен көбейетіндігі айқындалды.

Зерттеу жұмысы кезінде жинақталған Кладония тұқымдасына жататын 18 түрдің әрқайсысының табиғаттағы субстратта қоныстануы мен сканерлік микроскоп арқылы апотеций мен соридийлерінің пішіні және орналасуы туралы төменде қысқаша биологиялық сипаттамалары берілді.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Фимбриата кладония (*Cladonia fimbriata*) түрі Бурабайдың аралас орман алқаптарында қалың мүк түзілген, ылғалды топырақ бетінен алынды.



Субстраттағы
Фимбриата кладония



Апотецийлер подецийлердің
үшінде топтанып орналасқан

Сурет 2. Фимбриата кладониясы (*Cladonia fimbriata*)

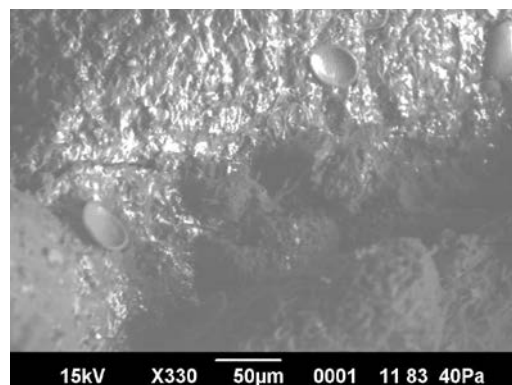
Бұл түрдің алғашқы талломасы ақшыл-жасыл түсті, субстратқа төсеніп немесе аздап көтеріңкі түрде өскен. Ал екінші реттік подецийлі талломасының жоғарғы жағы кеңейген, бұтақтанбаған немесе нашар бұтақтанған, іші қуыс және жиектері тісшелі бокал түрінде болды. Көп мөлшерде түзілген апотециялары подецийлердің жиектерінде топтанып түзілген.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Грацилис кладония (*Cladonia gracilis*) түрі.

Зерттеу аймақтарындағы орманды құмды және қарашірікті топырақтардың бетінде өте жиі кездесті. Қабыршақты алғашқы талломы, шымды субстратқа жабысып орналасқан. Тебен тәрізді, шеткі жиектері тісшелі подецийлері және өсінді түріндегі сцифалары болады. Апотецийлері біршама ірі, қоңыр түсті.



Грацилис кладониясы



Сирек түрдегі қондырмалы апотециясы

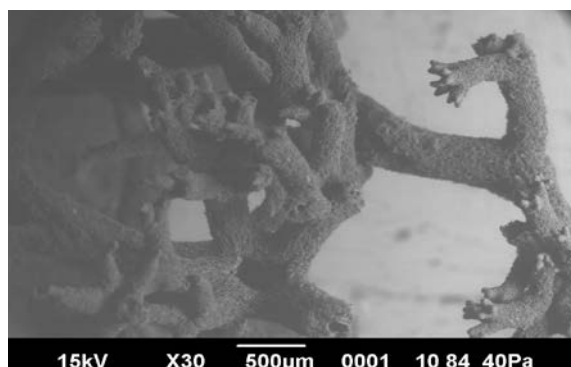
Сурет 3. Грацилис кладониясы (*Cladonia gracilis*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, Сулватика кладония (*Cladonia sulvatica*) түрі.

Бурабайдың қылқан-жапырақты орман топырақтарында жеке топтанып түзілген. Алғашқы талломасы болған жоқ. Бұл түрдің екінші реттік сұр түсті цилиндр тәрізді подецийі тік немесе аздап иілген және қатты бұтақтанып тармақталған. Сирек түзілетін қоңыр түсті апотецийлері бұтақтарының ұшында жекелеп немесе бір-бірімен кірігіп топтанып орналасады.



Зерттеу аймақтарында өскен
Сулватика кладониясы



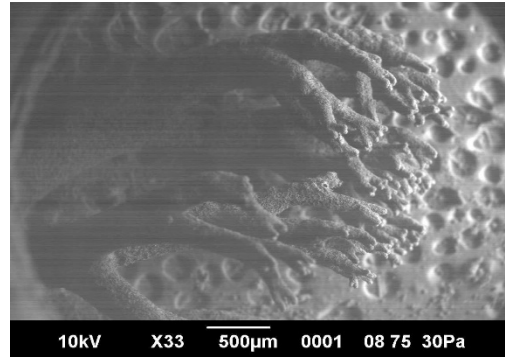
Подецияларының бір бағытта төмен иіліп түзілген
стерильді бұтақтары

Сурет 4. Сулватика кладониясы (*Cladonia sulvatica*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, Рангиферина кладония (*Cladonia rangiferina*) түрі. Зерттеу участоктарының қалың өскен өсімдіктер арасында, әсіресе ылғалы жеткілікті жерде қоныстанатындығы байқалды. Алғашқы талломы болмады. Бұл түрдің подецийлері жиі тік өскен және әртүрлі бұтақталып тармақталып, бір бағытта төмен қарай иілген. Апотецийлері өте ұсақ, бұтақтардың ұшында жекелеп түзіледі, дискісі жартылай шар тәрізді.



Рангиферина кладониясы



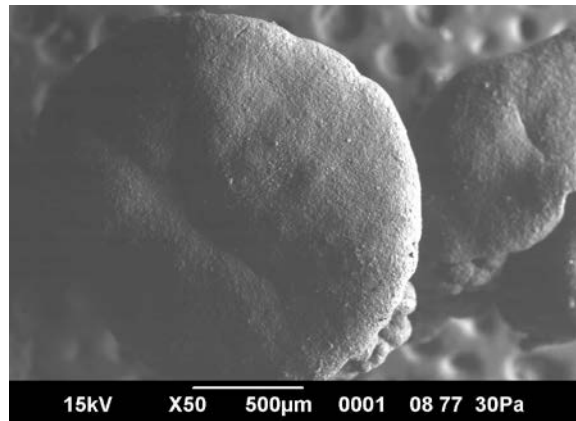
Апотециялы бұтақтанған таллома ұштары

Сурет 5. Рангиферина кладониясы (*Cladonia rangiferina*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, Коккифера кладония (*Cladonia coccifera*) түрі. Зерттеу участоктарындағы мүк басқан топырақ беттерінде 1-2 дарақтардан өсетіндігі анықталды. Ұсақ қабыршақты тілімшелі алғашқы талломы сақталған.



Cladonia coccifera қынасы



Сцифон жиектерінде дөңестенген ашық-қызыл түсті апотецийі

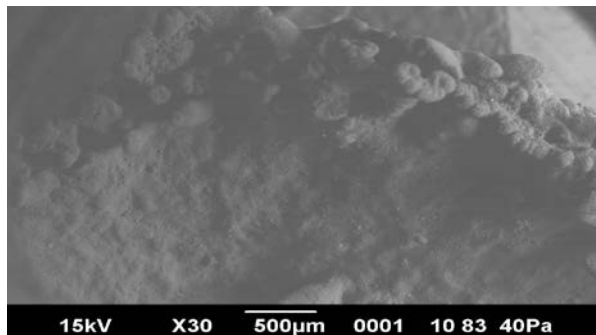
Сурет 6. *Cladonia coccifera*

Сұрғылт-жасыл түсті болып келетін сцифонды подецийлерінің ұзындығы 2-3 см болады. Сцифондарының жиектерінде дөңестенген ашық – қызыл түсті апотецийлері көбінесе топтанып кейде жекелей жетілген. Апотецияларының дискісі дөңес, жұқа жиекті ашық-қызыл түсті.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Вертициллата кладониясы (*Cladonia verticillata*) түрі көбінесе орман алқаптарындағы мүкті топырақтарда өте көп кездесті.



Вертициллата кладония қынасы

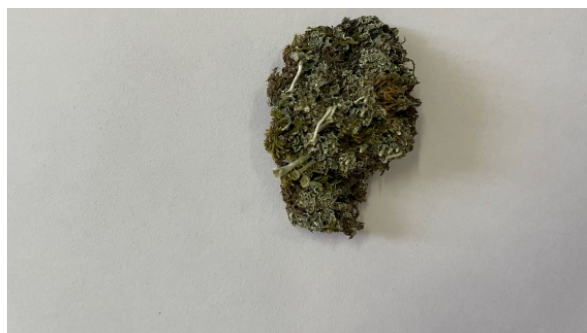


Сцифаларының жиектерінде түзілген апотецияларының көрінісі

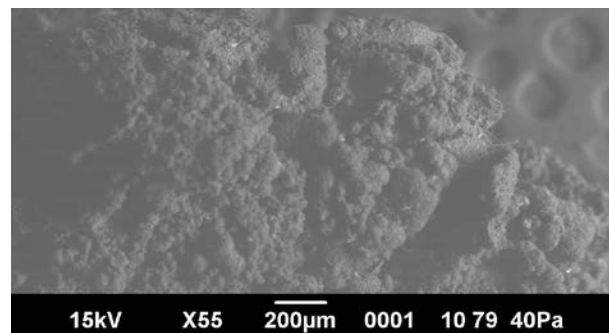
Сурет 7. Вертициллата кладониясы (*Cladonia verticillata*)

Алғашқы қабыршақ тәрізді талломаларының жиектері тісшелі немесе жиырылған. Подецийлері сұрғылт-жасыл түсті, шар тәрізді жалпайған сцифасының (бокалының) шеткі жиектері тісшелі немесе дөңес жиекті болып келеді. Негізгі сцифасының ортасынан бірнеше қабатты қосымша сцифалар түзілеген. Сцифаларының шеттерінде ұсақ келген апотецийлері қошқыл-қоңыр түсті, көбінесе бірнешеуі бірігіп топтанып немесе жеке өскен.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Деформис кладония (*Cladonia deformis*) түрі маршрутты экспедиция кезінде жалпақ жапырақты ағаштардың маңайындағы мүкті, ылғалы біршама жоғары, және көлеңкелі жерлерден жинақталды. Бұл түрдің алғашқы қабықша тәрізді талломасы субстратта төсеніп сақталған. Подециялары цилиндр тәрізді тік жоғары қарай аздап кеңейген сұрғылт-жасыл түсті. Цилиндр тәрізді подецийлердің кеңейген жерлерінде дөңес дискілі апотециялар көбінесе бірігіп топтанып түзілген.



Мүкті топырақ бетіндегі *Cladonia deformis* түрі



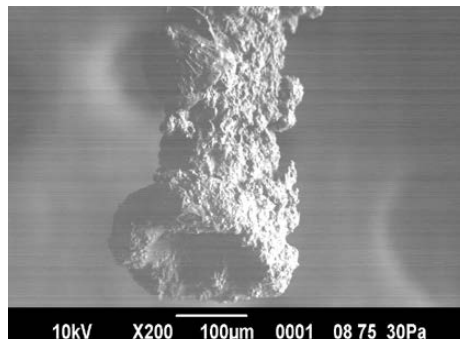
Подецияларының жиектерінде топтанып түзілген апотециялары

Сурет 8. *Cladonia deformis*

Кладония (*Cladonia*) туысы, Кладония криспата (*Cladonia crispata*) түрі зерттеу аймақтарында ағаш бұтақтары мен діңдерінде, сүректі өсімдіктердің түсіп қалған қабықтарында өсетіндігі байқалды.



Криспата кладониясы



Жекелеген кубок тәрізді перфорациялы подециясы

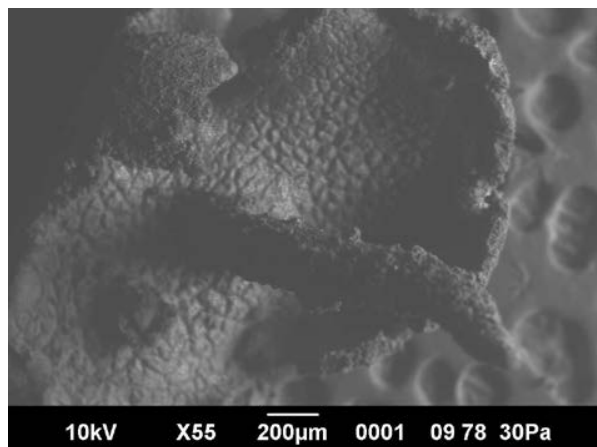
Сурет 9. *Cladonia crispata*

Алғашқы талломы қатты тілімделген қабыршақтардан тұрады. Подециялары толық жетілген кезде олардың ұштарында түзілген кубоктары жеке саңылаулы (перфорациялы) болады. Апотецийлері қысқа келген бұтақшалардың ұшында жекелеп орналасқан, дискісі қоңыр-қызғылт немесе ашық-қоңыр түсті.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Корнута кладония (*Cladonia cornuta*) түрі зерттелген аймақтардың ашық алаңдарынан және шалғынды құмды құрғақ топырақ беттерінен жиналды. Қабыршақ түріндегі алғашқы талломдары болды. Таяқша тәрізді подецийлері сұрғылт-жасыл түсті, ұштары қиғаш пішінді, таяз пролификацияланған, жоғары жағындағы ұнтақты соредийлері болады. Сирек түрде қара-қоңыр түсті апотецийлері кездесті.



Корнута кладония



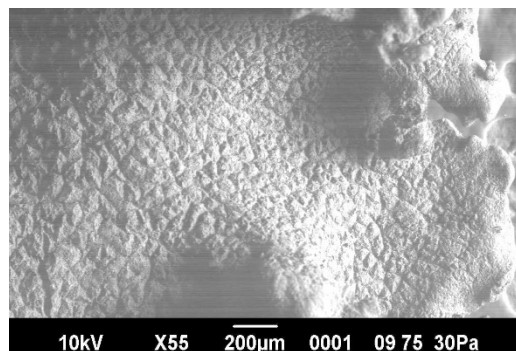
Подециясының ортаңғы бөлігінде ареолды талломдардың түзілген көрінісі

Сурет 10. Корнута кладониясы (*Cladonia cornuta*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, Кониокрае кладония (*Cladonia coniocraea*) түрі ағаштардың бұтақтары мен діңдерінен алынды.



Кониокрае кладония



Филлокодиялы, соредиозды ұнтақты қабырғалы кубок жиегінің көрінісі

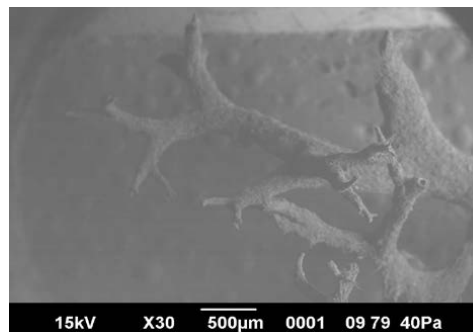
Сурет 11. Кониокрае кладониясы (*Cladonia coniocraea*)

Әсіресе қалың өскен мүктер арасында тіршілігін жойған ағаштарда қоныстанған. Алғашқы талломы ірі қабыршақты, жақсы дамыған және сақталған. Таяқша, мүйіз немесе тебен тәрізді біршама иіліп түзілген жіңішке кубокты подециясының үстіңгі беті соредиозды ұнтақты. Подецияның үстіңгі жағында кейде сцифалар орналасады. Қошқыл-қоңыр түсті апотецийлері сирек.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Алпестрис кладония (*Cladonia alpestris*) түрі Бурабайдың күн сәулесі мол түсетін қарағайлы орманның ашық жерлеріндегі топырақ беттерінде, шашылып топтанып өсетіндігі анықталды.



Алпестрис кладония қынасының жалпы көрінісі



Қына бұтақтанған жерлердегі саңылауы және тармақталып бұтақтануы

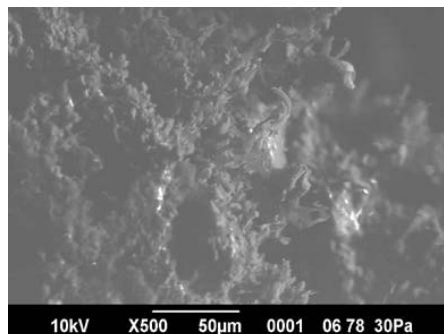
Сурет 12. Алпестрис кладониясы (*Cladonia alpestris*)

Ақшыл-жасыл түсті, ұштары доғалданған бірнеше рет бұтақтанып жан-жаққа жайылып тармақталған подециялары өте қалың болып түзіледі. Тармақтанған жерлерде біршама үлкен саңылауы болады. Подецияларда соридийлер мен апотециялары сирек түзіледі. Зерттеу аймақтарында бұл түр көбінесе талломдарының бөлінуі арқылы вегетативтік жолмен көбейетіндігі байқалды.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Пиксидата кладония (*Cladonia pyxidata*) түрі зерттеу аймақтарындағы ағаш діңдерінде қоныстанған. Қабыршақты горизонтальді талломаларының шеттері әртүрлі тісшелі. Сұр-жасыл түсті, тік орналасқан подецияларының жоғары жағы кеңейген бокал тәрізді, жиектері тегіс немесе тісшелі. Апотециялары сирек, жекелеп немесе бір-бірімен жабысып түзіледі, апотеция дискісі жайпақ немесе жиектері аздап дөңестеу.



Пиксидата кладониясы



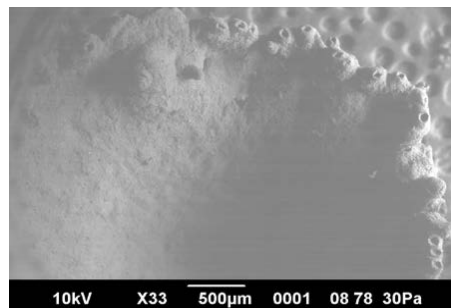
Апотецийлі подеция бөлігі

Сурет 13. *Пиксидата кладониясы (Cladonia pyxidata)*

Кладония (*Cladonia*) туысы, Стрепсилис кладония (*Cladonia strepsilis*) түрі осы аймақтардың шымды-мүкті топырақ беттерінде өте көп мөлшерде кездесетін қыналар түрлерін құрайды.



Стрепсилис кладониясы



Подеция ұшында жекелеп түзілген апотециялардың көрінісі

Сурет 14. *Стрепсилис кладониясы (Cladonia strepsilis)*

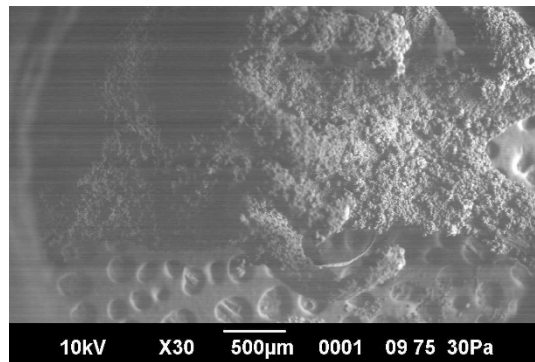
Шым түзіп түзілген, горизонтальді талломасы сақталған. Подециялары сұр-жасыл түсті, жоғарғы бөлігі цилиндр тәрізді аздап тармақталған, ұсақ филлокладиялы. Апотециялары подецияларының жоғарғы ұшында жекелеп немесе топтанып түзілген. Апотецияларының дискісі жайпақ немесе жиектері дөңес келген, түсі қоңыр немесе қою қоңыр түсті.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Ценотеа кладония (*Cladonia cenotea*) түрі Бурабайдың шымды топырақ беттерінен жинақталып анықталды. Горизонтальді қабыршақты

талломдары бір-біріне жабысып топ құрып түзілген. Подециялары жай немесе аздап тармақталған, цилиндр тәрізді тік орналасқан, кубоктары тебен, мүйіз тәрізді, саңылаулары аздап қиғаш болып келеді. Апотециялары саңылаулы кубоктардың жиектерінде жекелеп немесе топтанып түзіледі, дискісі сарғыш немесе қоңырлау түсті.



Ценотеа кладониясы



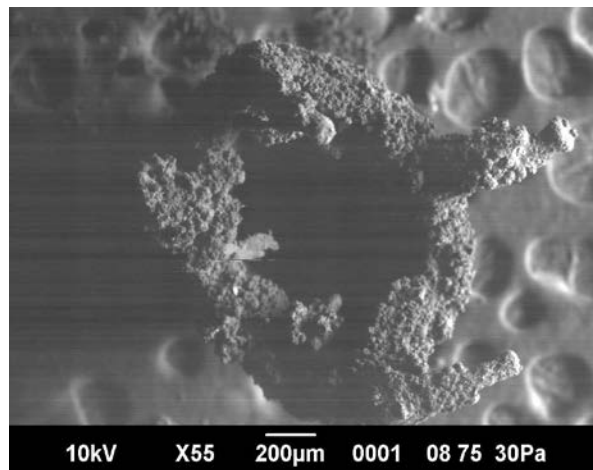
Шеткі жиектеріндегі топталып және жекелеген түзілген апотециялы және филлокладиялы кубок бөлігі

Сурет 15. Ценотеа кладония (*Cladonia cenotea*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, Тениус кладония (*Cladonia ataiuroscraea* немесе *tenius*) түрі қылқанды сүректі өсімдік діндерінің ең төменгі, яғни жерге таяу жерлерінде өсетіндігі және кездесу жиіліктері жоғары екендігі анықталды. Аз мөлшердегі горизонтальді талломасы сұрғылт-жасыл түсті. Подециялары дихатомды түрде бұтақтанған, кубоктың жоғары жағы саңылаулы кеңейген цилиндр, тебен тәрізді. Апотециялары кубоктың жиектерінде жекелеп немесе топтанып бір-бірімен кірігіп орналасқан.



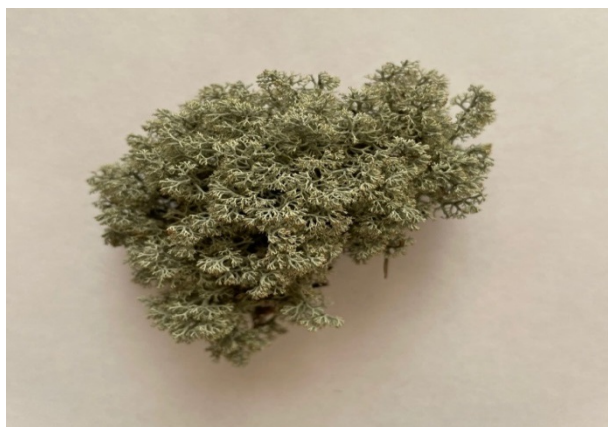
Тениус кладониясы



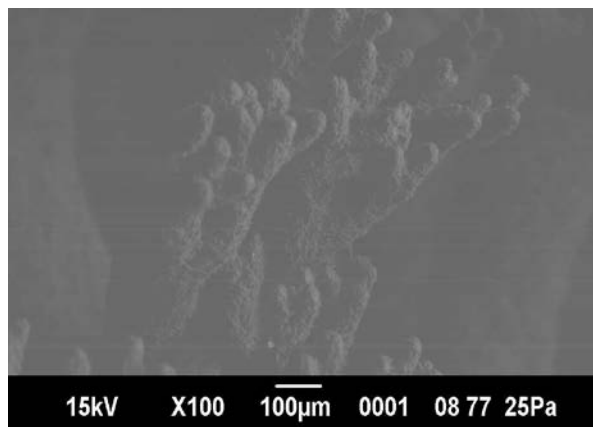
Жиектерінде апотециялар мен филлокладиялар түзілген кубок тәрізді подециясының көрінісі

Сурет 16. Тениус кладониясы (*Cladonia ataiuroscraea* немесе *tenius*)

Кладония (*Cladonia*) туысы, **Алпикола кладония (*Cladonia alpicola*)** түрі Бурабайдың ашық алаңдарындағы топырақ бетінде өседі.



Алпикола кладониясы



Апотециялы подецияларының көрінісі

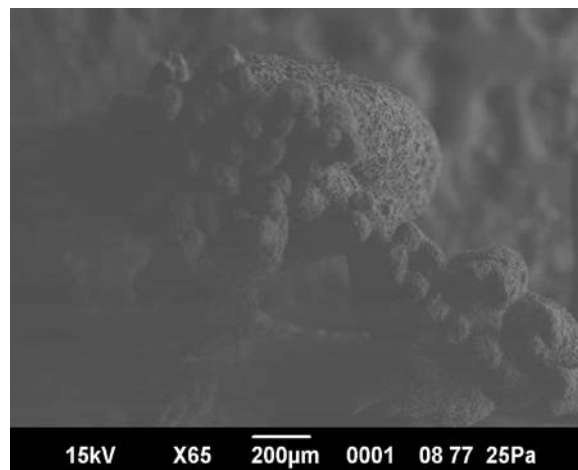
Сурет 17. Алпикола кладониясы (*Cladonia alpicola*)

Подециялары цилиндр немесе тебен тәрізді, доғал, жоғарғы бөлігі тармақталған. Подецияларының ұштарында орналасқан апотециялары бір- бірімен кірігіп немесе топтасып түзіледі. Апотециясының дискісі қоңыр немесе қоңыр-сарғыш түсті.

Кладония (*Cladonia*) туысы, **Тургида кладония (*Cladonia turgida*)** түрі Бурабайдың орманды жерлеріндегі топырақ бетінде қоныстанған бұталы қыналарға жатады. Тік түзілген, ұшы дихатомиялық немесе жай тармақталған, қысқа бұтақтары сәулелі тармақты, подециялары бос түзіліп жинақталған.



Тургида кладониясы



Подецияның ұшында түзілген апотецияларының көрінісі

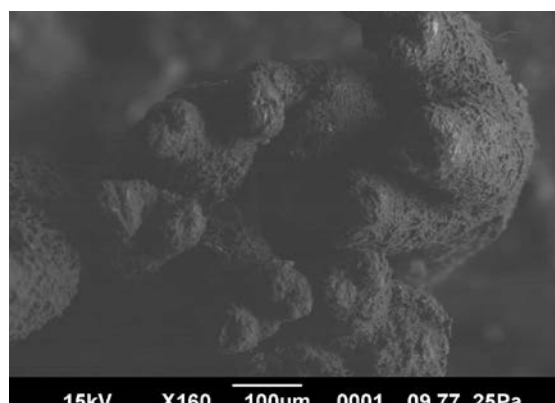
Сурет 18. Тургида кладониясы (*Cladonia turgida*)

Бұтақтарының тармақталған жерлері дөңгелек саңылаулы. Жекелеп немесе топтанып түзілген қысқа тұғырлы апотециялары бұталардың ұшында түзілген. Түсі қызғылт-қоңыр немесе қоңырлау апотециясының дискісі тегіс немес дөңес болып келеді.

Кладония (*Cladonia*) туысы, Рангиформис кладония (*Cladonia rangiformis*) түрі Бурабайдың қарағайлы ормандарының топырақ бетінде қоныстанған бұталы қына ретінде қарастырылды.



Рангиформис кладониясы



Қынананың апотециялы подеция бөлігі

Сурет 19. Рангиформис кладониясы (*Cladonia rangiformis*)

Түсі сұр немесе ақшылтым-сұр түсті, топтанып шым түзіп түзілген, дихатомды немесе симподиальді қалың түрде бұтақтанған цилиндр тәрізді подециялары тік немесе жайылып өскен. Жуандау келген бұтақтары саңылаулы. Апотециялары подеция бұтақтарының ұштарында жартылай шатырша түрінде болады. Апотециясының дискісі дөңес пішінді, қоңыр түсті.

Қорытынды

Анықталған қына түрлерін карта схемасын құру арқылы Бурабайдың ұлттық бағында өсетін *Cladoniaceae* тұқымдасы, *Cladonia* туысына жататын 18 түр, зерттеуге алынған 11 учасқтардың тек 7 учасқоғында таралғандығы анықталды. Зерттеу кезінде жинақталған Кладония тұқымдасына жататын 18 түр әртүрлі анықтағыштарды қолдану әдістері анықталды және морфологиялық құрылыстарын анақтылау немесе идентификациялау сканерлік электронды микроскоп (JSM) көмегімен жүзеге асырылды. Зерттеу учасқтарында Кладония түрлерінің Друде шкаласы бойынша кездесу жиілігін анықтау барысында тек Абылайхан учасқінде 1-2 дарақтан ғана өскен Коккифера кладониясы (*Cladonia coccifera*) осы аймақта кездесу жиілігі өте төмен және қорғауды қажет ететін түр ретінде қарастыру қажет деп санаймыз. Ал, осы аймақта өте жиі кездесетін эпигейлі *Cladonia alpestris* түрінің топырақ бетінде подецияларының үлкен аумақтарға таралып өсуіне байланысты вегетативтік көбейетін доминанты түр ретінде беріледі.

Авторлардың қосқан үлесі

Силыбаева Б.М., Букабаева Ж.Т.:

• **Тұжырымдаманы әзірлеу:** Идея қалыптастыру, негізгі мақсаттар мен міндеттерді тұжырымдау немесе дамыту.

• **Зерттеу жүргізу:** Эксперимент жүргізу және деректерді/дәлелдерді жинау, алынған деректерді талдау және интерпретациялау.

• **Мәтінді дайындау және өңдеу:** Қолжазбаны әзірлеу немесе оны сыни тұрғыдан қайта қарау, интеллектуалдық мазмұндағы құнды пікірлерді қосу; ғылыми жобаға қатысу; жарияланған жұмысты дайындау, жасау және/немесе ұсыну.

Ахметжанова А.М.:

• **Соңғы нұсқаны бекіту:** Жұмыстың барлық аспектілері үшін соның ішінде, мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығы және оның соңғы нұсқасын бекітуде жауапкершілікті қабылдау.

Ануарбекова А.Н.:

• **Әдістеме әзірлеу:** Әдістемені әзірлеу немесе жобалау, модельдерді құру.

Әдебиеттер тізімі

1. Абдрахманұлы О.А. Өсімдіктер систематикасы. Төменгі сатыдағы өсімдіктер. 3 - басылым толықт. – Астана: «Фолиант» баспасы, 2012. – 528 б.

2. Комарницкий Н.А. Лишайники, бактерии и актиномицеты. – Москва, Изд-во «Высшая школа», 1960. – 294 с.

3. Голубкова Н.С., Малышева Н.В. Влияние роста города на лишайники и лишеноиндикация атмосферных загрязнений г. Казани // Ботан. журн. – 1978 – Т. 63. – № 8. – С. 1145-1152.

4. Kousehlar M., Widom E. Identifying the sources of air pollution in an urban-industrial setting by lichen biomonitoring-A multi-tracer approach. Appl Geochem. – 2020. – Vol. 121. – P. 104695. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104695.

5. Corbushia A., Beck A., Schulte A. Microcolonial rock inhabitig fungi and lichen photobionts: for mutualistic interaactions // Mycological Research. – 2005. – Vol. 109(11). – P.1288-1296.

6. Lutzoni F., Miadlikowska J. lichens // Current Biology. – 2009. – Vol. 19(13). – P. 502-503.

7. Picard K., Letcher P., Powell M. Evidence for a facultative mutualive nutritional relationship between the green coccoid alga *Bracteacoccus* sp. (Chlorophyceae) and the zoosporic fungus *Rhizidium phycophilum* (Chytridiomycota) Funqal Biology. – 2013. – Vol. 117(5). – P. 319-328.

8. Храменкова О.М., Цуриков А.Г. Методические подходы к изучению анатомического строения лишайника *Hypogymnia physodes* (L) Nyl // Экологический Вестник. – 2015. – № 4(34). – С. 110-115.

9. Корчиков Е.С., Болгов Е.В., Ильина Е.С., Панкратов Т.А. Видовое разнообразие и особенности локализации фотобионта в эпигейных лишайниках рода *Cladonia* // Самарский научный вестник. – 2018. – Т. 7. – №3.(24). – С. 59-64.

10. Курченко В.П., Азарко И.И., Багманян И.А., Мямин В.Е., Бородин О.И., Гигинюк Ю.Г. Роль фито- и микобинтов кустистых лишайников Антрактиды в накоплении тяжелых металлов // Труды БГУ. – 2014. – Т. 9, часть 2. – С. 82-89.

11. Hayat M.T., Neumann M., Nasir Ali S., Bangash N. Environmental hazards of cadmium: past, present, and future. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*. Academic Press, Cambridge. – 2019 – P. 163-183. DOI: 10.1016/B978-0-12-814864-8.00007-3.
12. Опекунова М.Г., Опекунова А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г., Арестова И.Ю., Никитина М.А. Результаты экологического мониторинга шламовых амбаров лицензионных участков нефтегазодобычи севера Западной Сибири // Научная конференция. – Москва: Изд. Российского университета дружба народов, 2018. – С. 199-2004.
13. Boonpeng C., Sriviboon C., Polyiam W., Sangiamdee D., Watthana S., Boonpragob K. Assessing atmospheric pollution in a petrochemical industrial district using a lichen-air quality index (LiAQI). *Ecol Indic.* – 2018. – Vol. 95. – P. 589-594. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.08.012.
14. Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M., Emran T.B., Nainu F., Khusro A., Idris A.M., Khandaker M.U., Osman H., Alhumaidhi F.A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity // *Journal of King Saud University: Science.* – 2022. – Vol. 34(3). – P. 101865. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.101865.
15. Андреева Е.И. Лишайники – Lichenes. 2. Лецидеевые (Lecideales). 1. Леканоралықтар (Lecanoraceae). Флора споровых растений Казахстана. – Алма-Ата, 1983. – С. 192-206.
16. Нурекенова А.Т. Қарқаралы-Қызылорай ұсақ шоқыларының қына флорасының биоэкологиялық ерекшеліктері Қарағанды Университетінің хабаршысы // Серия «Биология. Медицина. География». – 2016. – № 3(83). – Б. 102-108.
17. Нурекенова А.Т. Сары-Арқаның флорасын жүйкелік талдау // ҚазҰУ Хабаршысы. Биология сериясы. – 2011. – № 4(50). – Б. 22-27.
18. Нурекенова А.Т., Абдрахманов Ш.Ф., Абиев С.А. Орталық Қазақстан ұсақ шоқыларының лихенофлорасына талдау // ҚарМУ хабаршысы. Биология, медицина, география сериясы. – 2008. – № 3(51). – Б. 20-28.
19. Хрусталева И.А., Куприянов А.Н., Султангазинова Г.Ж. Редкие виды растений национального парка «Бурабай» (Центральный Казахстан) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – №4(20). – С. 118-126.

Ж.Т. Букабаева, Б.М. Силыбаева, А.М. Ахметжанова, А.Н. Ануарбекова

Alikhan Bokeikhan University, Семей, Казахстан

Изучение видов *Cladonia*, произрастающих в различных районах парка Бурабай

Аннотация. Исследования лихенофлоры Национального парка Бурабай проводились в 2018-2022 годах весной, летом и осенью путем маршрутной экспедиции. В зависимости от цели научно-исследовательской работы национальный парк был разделен на 11 участков. Методом использования схемы картирования видов лишайников, полученных в качестве объекта исследования, было установлено, что из 11 участков семейства *Cladoniaceae* 18 видов произрастают только на 7 участках. Среди них *Cladonia fimbriata*, *C. pyxidata*, *C. Cenotea*, *C. tenius*, *C. sulvatica*, *C. gracilis*, *C. alpestris* выделялись от остальных видов распространением на нескольких участках. При изучении маршрута были рассмотрены частоты встречаемости

видов лишайников, экология, внутриутробная форма и особенности размножения. Наряду с определителями для определения типов кладонии использовался сканирующий электронный микроскоп (JSM). Среди 18 видов кладоний, принадлежащих к роду Кладония, среди исследовательских участков Коккифера кладония (*Cladonia coccifera*) было обнаружено лишь несколько особей на участке Золотобор. В связи с этим вид Коккифера кладония был выведен на территории Национального парка Бурабай как вид с очень низкой частотой встречаемости и нуждающийся в защите. Подеции эпигейных Кладонии Алпестрис (*Cladonia alpestris*), населявшей этот район парка Бурабай, распространились на большие территории. В связи с этим установлено, что он растет практически на всех участках Национального сада по сравнению с другими видами, относящимися к этому роду. Свободное расположение их подеционных таллом на поверхности почвы свидетельствует о том, что вид *Cladonia alpestris* в основном обусловлен особенностями размножения вегетативными путями. В связи с этим Кладония Алпестрис (*Cladonia alpestris*) рассматривалась как доминирующий вид по сравнению с другими видами кладонии, растущими в Национальном парке Бурабай.

Ключевые слова: Национальный парк Бурабай, лишенофлора, род Кладония, вид Кладония.

Zh.T. Bukabayeva, B.M. Silybayeva, A.M. Akhmetzhanova, A.N. Anuarbekova
Alikhan Bokeikhan University, Semey, Kazakhstan

Study of *Cladonia* species growing in various areas of Burabai Park

Abstract. Studies of the lichen flora of the Burabai National Park were carried out in 2018-2022 in spring, summer and autumn by a route expedition. Depending on the purpose of the research work, the national park was divided into 11 sections. By using the mapping scheme of lichen species obtained as a research object, it was found that out of 11 sites of the Cladoniaceae family, 18 species grow only on 7 sites. Among them, *Cladonia fimbriata*, *C. pyxidata*, *C. Cenotea*, *C. tenuis*, *C. sylvatica*, *C. gracilis*, *C. alpestris* were distinguished from other species by their distribution in several areas. In the study of the route, the frequency of occurrence of the lichen species, ecology, intrauterine form and features of reproduction were considered. Along with the determinants, a scanning electron microscope (JSM) was used to determine the types of cladonia. Among the 18 species of cladonia belonging to the genus *Cladonia*, only a few individuals were found at the Zolotobor site among the research sites of the *Cladonia coccifera*. In this regard, the species of *Coccifer cladonia* was bred on the territory of the Burabai National Park as a species with a very low frequency of occurrence and in need of protection. The podecia of the epigeal *Cladonia alpestris*, which inhabited this area of the Burabai Park, spread over large territories. In this regard, it has been established that it grows in almost all areas of the National Garden in comparison with other species belonging to this genus. The free location of their substructural thallomas on the soil surface indicates that the species *Cladonia alpestris* is mainly due to the peculiarities of reproduction by vegetative pathways. In this regard, *Cladonia alpestris* was considered as the dominant species in comparison with other species of cladonia growing in the Burabai National Park.

Keywords: Burabai National Park, lichenoflora, genus *Cladonia*, species *Cladonia*.

References

1. Abdrahmanuly O.A. Osimdikter sistematikasy. Tomengi satydagy osimdikter. 3 – basylym tolykt. [Systematics of plants. Lower plants. 3rd edition complete] (Astana: «Foliant» baspasy, 2012, 528 b.) [Astana: Foliant publishing house, 2012, 528 p.]. [in Kazakh]
2. Komarnickij N.A. Lishajniki, bakterii i aktinomicety [Lichens, bacteria and actinomycetes] (Moskva, Izd-vo «Vysshaya shkola», 1960, 294 s.) [Moscow, Publishing House «Higher School», 1960, 294 p.]. [in Russian]
3. Golubkova N.S., Malysheva N.V. Vlyanie rosta goroda na lishainiki I likhenooindnkaciya atmosferykh zagreznenii, g.Kazani Botan. Journ. [Influence of city growth on lichens and lichen indication of atmospheric pollution, Kazan Botan. Journal], 63(8), 1145-1152 (1978). [in Russian]
4. Kousehlar M., Widom E. Identifying the sources of air pollution in an urban-industrial setting by lichen biomonitoring-A multi-tracer approach. *Appl Geochem.*, 121, 104695 (2020). DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104695.
5. Corbushia A., Beck A., Schulte A. Microcolonial rock inhabiting fungi and lichen photobionts: for mutualistic interactions, *Mycological Research*, 109(11), 1288-1296 (2005).
6. Lutzoni F., Miadlikowska J. lichens, *Current Biology*, 19(13), 502-503 (2009).
7. Picard K., Letcher P., Powell M. Evidence for a facultative mutualive nutritional relationship between the green coccoid alga *Bracteacoccus* sp. (Chlorophyceae) and the zoosporic fungus *Rhizidium phycophilum* (Chytridiomycota) *Fungal Biology*, 117(5), 319-328 (2013).
8. Khranchenkova O.M., Tsurikov A.G. Metodicheskie podhody k izuchenyu anatomicheskogo stroeniya lishainiki *Hypogymnia physodes* (L) Nyl, *ekolojeskii vestnik* [Methodical approaches to the study of the anatomical structure of the lichen *Hypogymnia physodes* (L) Nyl, *ecological Vestnik*], 4(34), 110-115 (2015). [in Russian]
9. Korchikov E.S., Bolgov E.V., Ilyina E.S., Pankratov T.A. Vidovoe raznoobrazovanie i osobennosti lokalizatsii fotobionta v epigeinykh lishainikakh roda *Cladonia*, *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Species diversity and localization features of photobiont in epigeal lichens of the genus *Cladonia*, *Samarskiy nauchnyy vestnik*], 7, 3(24), 59-64 (2018). [in Russian]
10. Kurchenko V.P., Azarko I.I., Bagmanyanyan I.A., Myamin V.E., Borodin O.I., Giginiuk Y.G. Rol' fito- i mikrobiontov kustistykh lishainikov Antarktity v nakoplenii tyajelykh metallov, *Trudy BSU* [The role of phyto- and mycophytes of bushy lichens of the Antractia in the accumulation of heavy metals, *Work BSU*], 9(2), 82-89 (2014). [in Russian]
11. Hayat M.T., Neumann M., Nasir Ali S., Bangash N. Environmental hazards of cadmium: past, present, and future. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*. Academic Press, Cambridge, 163-183 (2019). DOI: 10.1016/B978-0-12-814864-8.00007-3.
12. Opekunova M.G., Opekunova A.Yu., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G., Arestova I.Yu., Nikitina M.A. Resultaty ekologicheskogo monitoringa shalovykh ambarov licenzionnykh uchastkov neftegazodobychi Severa Zapadnoi Sibiri. Nauchnaya konferentsiya. Moskva, Izd., *Rossiskii universitet druzhba narodov* [The results of ecological monitoring of sludge warehouses of license sites of oil and gas production in North Western Siberia. Scientific conference. Moscow, Izd. Russian University of People's Friendship], 199-200 (2018). [in Russian]
13. Boonpeng C., Sriviboon C., Polyiam W., Sangiamdee D., Watthana S., Boonpragob K. Assessing atmospheric pollution in a petrochemical industrial district using a lichen-air quality index (LiAQI). *Ecol Indic.*, 95, 589-594 (2018). DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.08.012. [in English]
14. Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M., Emran T.B., Nainu F., Khusro A., Idris A.M., Khandaker M.U., Osman H., Alhumaidhi F.A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and

human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity, Journal of King Saud University: Science, 34(3), 101865 (2022). DOI: 10.1016/j.jksus.2022.101865.

15. Andreeva E.I. Lichenes - Lichenes. 2. Lecideales (Lecideales). L. Lecanoralykta (Lecanoraceae), Flora sporovykh rastenii Kazakstana [Lichenes - Lichenes. 2. Lecideales (Lecideales). L. Lecanoraceae (Lecanoraceae), Flora of spore plants of Kazakhstan] (Alma-Ata, 1983, 192-206 s.). [in Russian]

16. Nurekenova A.T. Karkaraly-Kyzylorai usak shokolarynyn kyna florasynyn bioecologyalyk erekshelikteri, Karagandy Universitetinin khabarshysy. Serya "Biologia. Medicina. Geografiya" [Bioecological features of the lichen flora of Karkaraly-Kyzylorai small hills, Herald of Karaganda University. Series «Biology. Medicine. Geography»], 3(83), 102-108 (2016). [in Kazakh]

17. Nurekenova A.T. Sary-Arkany florasy juielik taldau, Kaz UU Khabarshysy. Biologiya seriyasy [Systematic analysis of the flora of Sary-Arka, Newspaper of KazNU. Biology Series], 4(50), 22-27, (2011). [in Kazakh]

18. Nurekenova A.T., Abdrakhmanov Sh.F., Abiev S.A. Ortalyk Kazakstan usak shokylarynyn likhenoflorasy taldau, KarMU khabarshysy. Biologia, medicina, geografiya seriyasy [Analysis of the lichen flora of the small hills of Central Kazakhstan, Newspaper of KarMU. Biology, medicine, geography series], 3(51), 20-28 (2008). [in Kazakh]

19. Khrustaleva I.A., Kupriyanov A.N., Sultangazinova G.Zh. Redkie vidy rastenii nacional`nogo parka "Burabai" (Central`nyi Kazakhstan), Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya [Rare species of plants of national park «Burabay» (Central Kazakhstan), Herald of Tomsk State University. Biology], 4(20), 118-126, (2012). [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Букабаева Ж.Т. – қолданбалы биология кафедрасының аға оқытушысы, Alikhan Bokeikhan University, Абай көш., 107, Семей қаласы, Қазақстан.

Силыбаева Б.М. – қолданбалы биология кафедрасының доценті, биология ғылымдарының кандидаты, Alikhan Bokeikhan University, Абай көш., 107, Семей қаласы, Қазақстан.

Ахметжанова А.М. – қолданбалы биология кафедрасының оқытушысы, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Alikhan Bokeikhan University, Абай көш., 107, Семей қаласы, Қазақстан.

Ануарбекова А.Н. – қолданбалы биология кафедрасының оқытушысы, биология мамандығы бойынша педагогика ғылымдары магистрі, Alikhan Bokeikhan University, Абай көш., 107, Семей қаласы, Қазақстан.

Bukabayeva Zh.T. – Senior Lecturer of the Department of Applied Biology, Alikhan Bokeikhan University, Abai str. 107, Semey, Kazakhstan.

Silybayeva B.M. – associate Professor of the Department of Applied Biology, Candidate of Biological Sciences, Alikhan Bokeikhan University, Abai str. 107, Semey, Kazakhstan.

Akhmetzhanova A.M. – lecturer of the Department of Applied Biology, Master of Natural Sciences, Alikhan Bokeikhan University, Abai str. 107, Semey, Kazakhstan.

Anuarbekova A.N. – lecturer of the Department of Applied Biology, Master of Pedagogical Sciences in Biology, Alikhan Bokeikhan University, Abai str. 107, Semey, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.33.19

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-76-86>

Семей аймағы құмырсқаларының түрлік құрамы

Ә.М. Назарбеков*^{ORCID}, Б.Н. Қасымханова^{ORCID}, М.Г. Қуанышбаева^{ORCID}, Г.С. Сапарова^{ORCID}

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: adil.nazarbekov00@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада Семей аймағы құмырсқаларының түрлік құрамы және биологиясы бойынша жұмыс нәтижелері көрсетілген. Құмырсқалардың негізгі түрлерінің сипаттамалары берілген. Қазіргі уақытта дүние жүзінде формицидтердің 15,800-ға жуық түрі бар, олардың 117-ға жуығы Қазақстанда кездеседі. Семей аймағы құмырсқаларын зерттеу жұмыстары 2021-2022 жылдары көктем мен жаз мезгілдерінде жүргізілді. Зерттеу жұмыстары Семей өңірінің Қарағайлы орманында, Бобровка кентінде, Бейбітшілік аралында, Птичник кентінде, Шығыс кентінде, Ескі қорған жерінде және Ертістің оң және сол жағалауындағы елді мекендерде жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша формицидтердің 6 туысына жататын 25 түрі анықталды, олардың арасында *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius* туыстарының өкілдері жиі кездеседі. оның ішінде сандық қарым-қатынастары бойынша *Formica* туысы 44%, *Camponotus* туысы 20%, *Cataglyphis* туысы 4%, *Myrmica* туысы 20%, *Lasius* туысы 8%, *Monomorium* туысы 4%-ды құрайды.

Түйін сөздер: *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius*, *Monomorium*.

Кіріспе

Бізді қоршаған табиғатта ең көп таралған зоомассаның бөлігі омыртқасыздардан тұрады, омыртқалылардың үлесі 4,3% құрайды. Ал омыртқасыздардың ішінде құмырсқалар (Formicidae) – жәндіктердің ең көп таралған тұқымдасы. Олар барлық континенттерде және барлық ендіктерде тіршілік етеді, тек Антарктика, Гренландия, Исландия және кейбір жеке аралдарда кездеспейді. Қазіргі уақытта дүние жүзінде формицидтердің 15800-ға жуық түрі бар, олардың 117-ға жуығы Қазақстанда кездеседі. [AntWeb v.8.91.2] Құмырсқаларға қоғамдаса тіршілік ету тән. Құмырсқалар табиғат өмірінде маңызды рөл атқарады. Орман құмырсқалары зиянды жәндіктерді жоюда және өсімдік тұқымын тасымалдауда пайдалы. Жер құмырсқалары өз жолдарымен топыраққа еніп, осылайша құрылымдық топырақтың пайда болуына ықпал етеді. Бірақ адам шаруашылығына зиян келтіретін құмырсқалардың түрлері бар. Үй құмырсқалары әсіресе зиянды. Тұрғын үйге жақын орналасқаннан кейін, бұл кішкентай жәндіктер азық-түлік қоры бар барлық жерге енеді [1, 4 б.].

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – Семей аймағы құмырсқаларының түрлік құрамын анықтау, экологиялық сипаттамалар беру.

Абай облысы аймағының өсімдіктері мен жануарлардың биоалуантүрлілігін сақтау өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Құмырсқалардың табиғатта да, адам өмірінде де маңызы өте жоғары. Қазіргі кезде Семей аймағының формицидтері бойынша мәліметтер толық емес. Осы аталған мәселенің толық зерттелмеуі табиғи ресурстарды тиімді пайдалану, қоршаған ортаны қорғау мәселелерін шешуге де кедергі келтіреді. Сол себепті, осы аймақтағы құмырсқаларды толық түрде зерттеу өзекті болып табылады.

Семей аймағының құмырсқаларын зерттеу жұмыстары 2021-2022 жылдардың көктем мен жаз мезгілдерінде жүргізілді. Ғылыми жұмысты жазуға негіз болып отырған формицидтер Семей өңірінің Қарағайлы орманында, Бобровка кентінде, Бейбітшілік аралында, Птичник кентінде, Шығыс кентінде, Ескі қорған жерінде және Ертістің оң және сол жағалауындағы елді мекендерінде жиналған материалдар.

Зерттеу нысаны

Formicidae тұқымдасының өкілдері болып табылады.

Зерттеу әдістері

Құмырсқаларды жинаудың негізгі әдісі – қолмен жинау. Оларды жинау барысында арнаулы құрал-жабдықтар қолданылды: улауға арналған ыдыстар (морилка), хлороформ немесе эфир, пинцет, формицидтерді уақытша сақтауға арналған банкалар, ұлғайтқыш далалық лупа, коллекцияны жинақтауға арналған ыдыстар. Жаз айларында олардың түр құрамын анықтау үшін жергілікті жерді маршруттық зерттеу барысында кездескен түрлерді аулау арқылы, барлық жерде

жүргізіді. Жинақталған түрлерді анықтау барысында әртүрлі анықтағыштар мен ғылыми еңбектер пайдаланылды [6, 5-48 б.].

Зерттеу нәтижелері

Семей өңірінде құмырсқалардың өкілдері өзінің алуантүрлілігімен ерекшеленеді. Formicidae тұқымдасы өкілдерінің тізімі 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1

Семей өңірінің формицидтерінің түрлік құрамы

| Туысы | Түрі |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Formica</i> | 1. <i>F.pratensis</i> |
| | 2. <i>F.rufibarbis</i> |
| | 3. <i>F.subpilosa</i> |
| | 4. <i>F.lemanni</i> |
| | 5. <i>F.sanguinea</i> |
| | 6. <i>F.rufa</i> |
| | 7. <i>F.glauca</i> |
| | 8. <i>F.(Serviformica) fusca</i> |
| | 9. <i>F.clara</i> |
| | 10. <i>F.uralensis</i> |
| | 11. <i>F.lugubris</i> |
| 2. <i>Camponotus</i> | 12. <i>C.ligniperda</i> |
| | 13. <i>C.obscuripes</i> |
| | 14. <i>C.herculeanus</i> |
| | 15. <i>C.interjectus</i> |
| | 16. <i>C.vagus</i> |
| 3. <i>Cataglyphis</i> | 17. <i>C.aenescens</i> |
| 4. <i>Myrmica</i> | 18. <i>M.lobicornis</i> |
| | 19. <i>M.rubra</i> |
| | 20. <i>M.salina</i> |
| | 21. <i>M.stangeana</i> |
| | 22. <i>M.lonae</i> |
| 5. <i>Lasius</i> | 23. <i>L. niger</i> |
| | 24. <i>L. alienus</i> |
| 6. <i>Monomorium</i> | 25. <i>M.pharaonis</i> |
| 6 | 25 |

Талқылау

Formica – «орман құмырсқалары» деп аталатын эволюциялық дамыған орта құмырсқалардың үлкен туысы.

Formica subpilosa түрінің жердегі илеулері кішкентай болып келеді. Ол көбінесе өзен аңғарларында, тоғайларда, су қоймалары жағасында, жер асты суларының жанында тіршілік етеді. Илеулері жалғыз немесе топтанып орналасуы мүмкін. Олар ашық жерлерден аулақ болуға тырысады. Жазық жерлерде *f. subpilosa* терең жер асты илеулерін салады. Кейде камералары тастардың астында салынады. Таулы жерлерде илеулерін биік қылып салады, өйткені жолдарын су басып қалу қаупі бар. Аталықтары мен аналықтары ұшу уақыты шілде айының ортасында болып келеді. Аналықтары жаңа отбасын өздері құрады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4-6 мм; аталықтары мен аналықтарының денесінің ұзындығы 9-10 мм (сурет 1).

Formica pratensis – құрғақ, жақсы жылытылатын жерлерді ұнататын термофильді түр. Ол қарағайлы орманда жас және пісетін екпелерде өмір сүреді. Негізгі илеуден басқа, үлкен топтарында дамыған жер асты бөлігі жоқ қосалқы илеулері болуы мүмкін. Мұндай илеулер әдетте негізгі илеудің артқы жолдарында кездеседі. Шалғынды құмырсқаның қоректенуінде өлі жәндіктер мен бал бітелері басым. Ол тірі жәндіктермен де қоректенеді. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4,5-9,5 мм, ал аталық және аналықтарының денесінің ұзындығы 9,5-11,5 мм-ге дейін жетеді [2, 45 б.].

Formica rufibarbis илеулерін ашық жерлерде, әсіресе егістіктерде орналастырады. Жәндіктер термофильді және тек тәулік бойы күн сәулесімен жарықтандырылған аумақта өмір сүреді. Құмырсқалар илеулерін тек қара топырақтың жоғарғы қабаттарында ғана емес, сонымен қатар құмды топырақта да құрайды, мұндай құмырсқалар өсімдіктер мен құмырсқаның айналасында орналасқан әртүрлі шөптермен қолдауды қажет етеді. Көбінесе олар өздерінің «илеулерін» кішкентай тастардың астына салады. Аталықтары мен аналықтарының ұшу уақыты шілде және тамыз айлары болып келеді. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 5-7 мм, ал аталық жән аналықтарының денесінің ұзындығы 11 мм-ге дейін жетеді [11, 957 б.].

Formica lemni негізінен биік жерлерде және беткейлерде кездеседі. Ол ашық жерлерді көп мекен етеді, орман алқаптарына кездеседі. Кейде тіпті (өте сирек) көлеңкелі ылғалды ормандарда кездеседі. Илеулерін топырақ қабатының астындағы дінгектерде, бөренелерде, шіріген ағаштарда салады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4,5-7 мм, ал аталық және аналықтарының денесінің ұзындығы 7,5-9 мм-ге дейін жетеді.

Formica sanguinea ол құрғақ және орташа ылғалды қарағай ағаштарын мекен ету ортасы ретінде қолданады. Шырша, қайың ағаштарында сирек кездесуі мүмкін. Ормандарда ол көбінесе жолдар бойында кездеседі. Қоректі аулаудың жалғыз және топтық түрлерін қолданатын белсенді энтомофаг. Құмырсқалар сонымен қатар жәндіктердің қалдықтарын және соратын жәндіктердің өлекселерін жинайды. Аталық және аналықтарының денесінің ұзындығы 8-11 мм-ге дейін, ал жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 5,6-9 мм-ге дейін.

Formica glauca – басының жоғарғы жағы әрдайым қоңыр немесе қызыл-қоңыр; кеудесі қызғылт немесе қоңыр түсті. Әдетте илеулері тазартылған, жақсы жарықтандырылған жерлерде, кішігірім биіктіктерде немесе жолдарда орналасады, бірнеше, тіпті көптеген кіре берістерге ие. Аталықтары мен аналықтарының ұшу уақыты маусым және шілде айлары болып келеді. Әдетте дене ұзындығы 4,0–6,5 мм аталықтардың денесі біркелкі қоңыр және ұзындығы 8,0–9,0 мм (сурет 2). Ол дала және орманды дала аймақтарында кездеседі. Дала аймағында ол ашық далада да, бақтарда да, орман алқаптарында да кездеседі.

Formica rufa – аталығының денесінің түсі күңгірт, тек артқы жағы әдетте әлсіз жылтырлау болады. Олардың илеулері қылқан жапырақты ағаштардың инелерінен, ұсақ бұтақтардан, қабық бөліктерінен және өсімдік қалдықтарынан тұрады. Жаңбыр жауғанда құмырсқа илеуінің беті ылғалданбайды және барлық ішкі жолдары мен камералар құрғақ болып қалады. Илеулерінің биіктігі әдетте 0,5-0,7 м құрайды, бірақ кейде олар 1,5 м биіктікке жетеді. Аталықтары мен аналықтарының ұшу уақыты маусым айының ортасы. Денесінің ұзындығы 9,0-11,0 мм (сурет 3). Ормандарда барлық жерде және сонымен қатар, жапырақты және аралас ормандарда да кездеседі.

Formica fusca өте кең таралған түр. Герпетобионт барлық дерлік биотоптарда кездеседі, тек өте құрғақ жерлерде кездеспеуі мүмкін. Көбіне ол қылқан жапырақты ормандарды, соның ішінде шырша, қарағай ағаштарын мекен етеді. Жерге де, шіріген өліп бара жатқан діндерге немесе ағаш кесектеріне де илеу салады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 3,5-7 мм, аналығының денесінің ұзындығы 9-11 мм, ал аталығының денесінің ұзындығы 8-10 мм-ге дейін жетеді.

Formica uralensis бұл қарағайлар мен балқарағайлардың шеттерінде, дала қарағайлары мен қайың ағаштарында, далада, кейде су басқан шалғындарда және ылғалды шымтезек батпақтарында өмір сүретін түр. Белсенді герпетобионт-зоофаг. Ол әртүрлі ұсақ жәндіктермен қоректенеді. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4,6-7,5 мм, аталық пен аналығының денесінің ұзындығы 9-10,5 мм-ге дейін жетеді.

Formica lugubris Ол жабық қылқан жапырақты ормандарда да, орман шеттерінде де, бұталы жерлерде де кездеседі. Басқа түрлермен кездескенде, ол әрқашан көлеңкелі ормандарды таңдайды. Қорегі ретінде жәндіктердің әртүрлі топтары, соның ішінде жапырақты және қылқан жапырақты ағаштардың зиянкестері бар. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4,5-9 мм-ге дейін, ал аталық және аналығының денесінің ұзындығы 9-11 мм-ге дейін жетеді.

Camponotus ligniperda – жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 6-дан 10 мм-ге дейін, аталықтарының денесінің ұзындығы 8-12 мм, аналығы 20 мм. Ол ормандар мен орман екпелерінде кездеседі, онда ол ауру ағаштарда және өлі ағаштарында кең илеу салады [3, 88 б].

Camponotus herculeanus ол үлкен ескі жапырақты ормандарда, қарағай мен шырша ормандарында кездеседі. Ол көлеңкелі жерлерді, орманның ішін мекен етеді, алайда орман жолдарының шетінде және кесінділерде де кездеседі. Тығыз шөп өсімдіктері бар жерлерден аулақ болады. Ол ескі ағаштарда, жартылай шіріген немесе өліп жатқан,

діңгектерде және құлаған ағаш діңдерінде илеулерін салады, бірақ негізінен илеулерін тұрақты діңдерде, көбінесе әлі де сау ағаштарда орналастырады. Аналығының денесінің ұзындығы 14-18 мм, аталығының денесінің ұзындығы 9-12 мм, ал жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 5 мм болып келеді.

Camponotus vagus тіршілік ету ортасы жапырақты ормандар мен қарағайлы ормандар. Олар ашық және құрғақ жерлерде - жиектерде, соқпақтарда, жолдардың шетінде илеулерін салады. Шіріген ескі ағаштағы илеулер, көбінесе діңгектерде және олардың тамырларында, кең жолдармен тесілген, тірі кебетін ағаштарда сирек кездеседі. Дендробионт-зоофаг. Кішкентай омыртқасыздарды аулайды. Ол өсімдік шырынымен, нектармен қоректенеді. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 6-12 мм, аталығының денесінің ұзындығы 9-11 мм-ге дейін, ал аналығының денесінің ұзындығы 13-16 мм-ге дейін жетеді.

Cataglyphis aenescens – денесі жіңішке, аяқтары ұзын, орташа мөлшердегі құмырсқалар, қара, жылтыр, ашық жерлерде мекендейді және даланың типтік тұрғындары болып табылады (сурет 4). Термофильді болып келеді. Күндізгі белсенділіктің ең жоғары деңгейі ең ыстық кезеңде болады [12, 366 б.].

Myrmica lobicornis – түр қылқан жапырақты ормандарда тіршілік етеді. Ол жақсы жылытылатын жерлерде, мысалы, құмды топырағы бар орман алқаптарында кездеседі. Герпетобионт, құрғақ және орташа ылғалды жеңіл ормандарда, көбінесе емен ағаштарында және қарағайларда кездестіруге болады.

Негізгі қорегі бітелер болып саналады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4-6 мм, аталықтарының денесінің ұзындығы 4-5,7 мм, аналықтары 5-6,5 мм-ге дейін жетеді.

Myrmica rubra – ол қылқан жапырақты және жапырақты ормандарды мекен етеді. Таза қарағайлы ормандарда кездеспейді немесе сирек кездеседі. Шалғындарда, жайылымдарда, ауылшаруашылық жерлерінде жиі кездеседі. Илеуін салу үшін ол әртүрлі микро биіктіктерді пайдаланады: соққылар, меңдер, жол жиектері, сондай-ақ өлі ағаш. Ол көбінесе ескі шіріген діңгектерде, қабығының астында, тамырларында және олардың жанында немесе мүк астында болады, оларды жоғарыдан жабады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 4-5 мм, ал аталық және аналығының денесінің ұзындығы 5-7 мм-ге дейін жетеді.

Lasius niger – ең танымал және барлық жерде кездесетін құмырсқалар. Ол көбінесе топырақта илеу салады, орташа ылғалдылықты жақсы көреді, бірақ кез-келген қолайлы баспананы толтыра алады: діңгектер, тастар және т.б. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы 3-4,5 мм, аталықтарының денесінің ұзындығы 4-5,5 мм, аналықтары 7,5-11 мм-ге дейін жетеді.

Monomorium pharaonis. Кез-келген жағдайда илеу сала алады. Жұмысшы құмырсқалардың денесінің ұзындығы өте кішкентай 2-2,5 мм, аналығы 5-6 мм. Полиморфизм жоқ. Жұмысшы құмырсқалар ұзақ өмір сүрмейді: 2,5-3 ай; аналығы - шамамен бір жыл [4, 153 б].

Құмырсқа илеуі топырақтан, қылқан жапырақтан жасалады. Ол құмырсқалардың тамақ қалдықтарымен шымдалады. Оның құрамында сілекейлі у көп. Бір-біріне

жабысып, жымдасқан құмырсқа илеуін кез келген долы жел, қар суыратын дауыл да ұшыра алмайды. Құмырсқаның илеуі халық емінде жан-жақты қолданылады. Құмырсқаның илеуі буын ауруына шалдыққандарға бірден-бір ем. Ол буынға жиналған сары суды сорып алады. Илеу қақаған суықтың өзінде де бірқалыпты жылылығын сақтайды. Қыста үсік шалған адамның аяқ-қолын илеумен ысқыласа, онда екінші рет үсімейтіндей төзімділік пайда болады. Ара, шыбын-шіркей шаққан жер асқынып, жараға айналса илеуді сулап немесе маймен жұмсартып, жарақатқа таңып тастайды. Мұндай әдісті құяңға, буындарға тұз жиналған жағдайда да қолданады. Илеуді өкшеге тұз жиналғанда қара бидайдың ұны мен шикі жұмыртқаның сары уызы, қара тұз, жылқының немесе өсімдік майымен араластырып тартқан тиімді. Құмырсқаның уын өкпе, құрт ауруларына пайдалануға болады. Алайда, бұл айтылған тәсілдердің бәрін халық емшілерінің ұсыныс-кеңесі бойынша белгілі мөлшерде қолдану қажет. Өз бетінше әрекет ету қауіпті [8, 4 б.].

Семей аймағының құмырсқаларын зерттеу барысында 6 туысқа жататын 25 түрі анықталды, оның ішінде сандық қарым-қатынастары бойынша *Formica* туысы 44%, *Camponotus* туысы 20%, *Cataglyphis* туысы 4%, *Myrmica* туысы 20%, *Lasius* туысы 8%, *Monomorium* туысы 4%-ды құрайды (илеулерде құмырсқалардың санын санау мүмкін емес, бұл жерде илеу саны алынып отыр). Осы мәліметтер бойынша кездесу көрсеткіштері 1 диаграммада келтірілген.

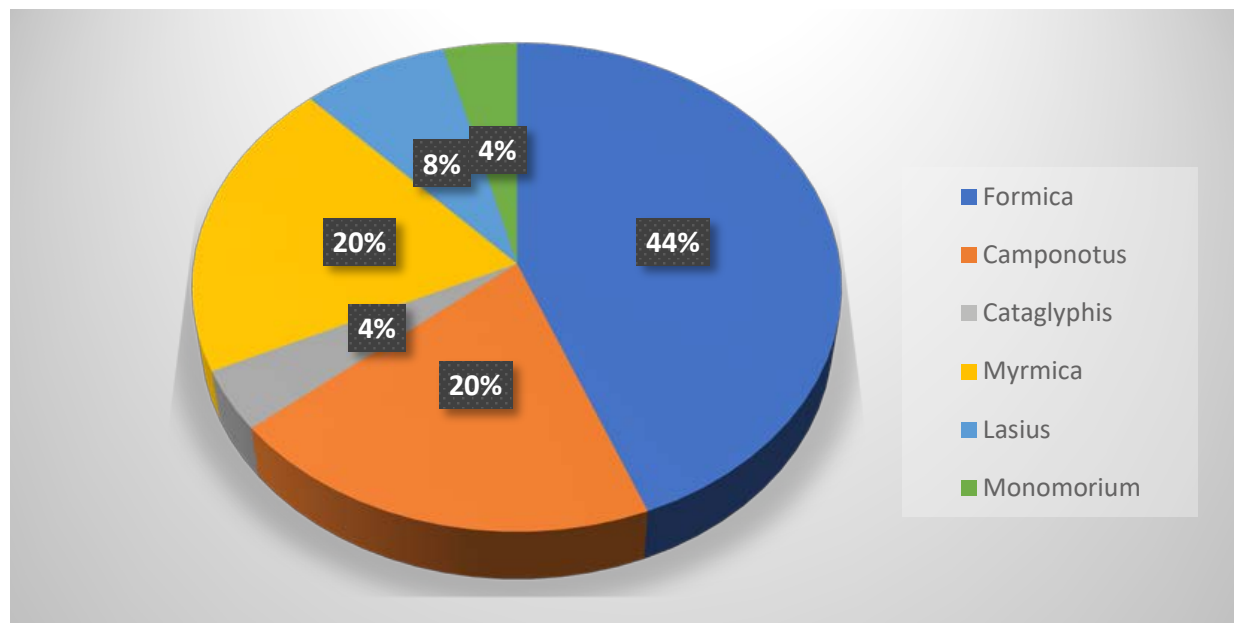


Диаграмма 1. Семей аймағының құмырсқаларының кездесу жиілігі

Семей өңірінде ең үлкен, маңызды туысқа *Formica* туысы жатады, бұл туысқа зерттелу аймағының 11 түрі тиесілі. Одан кейінгі маңызды туыстарға *Camponotus* және *Myrmica* туыстары жатады.



Сурет 1. *F. subpilosa*



Сурет 2. *F. glauca*



Сурет 3. *F. Rufa*



Сурет 4. *C. aenescens*

Қорытынды

Семей аймағының құмырсқаларын зерттеу барысында 6 туысқа жататын 25 түрі анықталды. Солардың ішінде кең таралған туыс *Formica* – 11 түрі анықталды, одан кейін *Camponotus* және *Myrmica* туыстарынан 5 түрден, *Lasius* туысынан 2 түр және *Cataglyphis*, *Monomorium* туыстарынан бір түрден тіркелді. Семей өңірінің формицидтерінің доминантты түрлеріне *F. rufa*, *F. glauca* жатады, ал ең аз кездесетін түріне *M. lobicornis* түрі жатады.

Авторлардың қосқан үлесі

- Семей өңірінің формицидтері бойынша материалдарды жинастыру – Назарбеков Ә.М., Қасымханова Б.Н., Сапарова Г.С.
- Аталған өңірдің құмырсқаларын жинастыру жұмыстарын жүргізгендер – Назарбеков Ә.М., Қасымханова Б.Н.
- Семей өңірінің құмырсқаларының түрлік құрамын анықтау жұмыстарын жүргізгендер – Қуанышбаева М.Ғ., Назарбеков Ә.М.
- Мәтінін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау – Назарбеков Ә.М., Сапарова Г.С., Қуанышбаева М.Ғ.
- Жариялауға арналған мақаланың соңғы нұсқасын бекіту – Сапарова Г.С., Қуанышбаева М.Ғ.

Әдебиеттер тізімі

1. Новоселов А.Л. Биологическая активность муравейников *Lasius niger* L. – Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 119 с.
2. Копылова О.Ю. Сравнительная характеристика актиномицетных комплексов муравейников. – Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2010. – 99 с.
3. Гридина Т.И. Муравьи Урала и их географическое распределение // Успехи современной биологии. – 2003. – Т. 123. № 3. – С. 289-298
4. Гилев А.В., Тунева Т.К. Заметки о биоразнообразии муравьев Урала. Муравьи хребта Нуралы (Башкортостан) // Фауна Урала и Сибири. – 2015. – № 1. – С. 42-47
5. Бугрова Н., Омельченко Л., Чеснокова С. Видовой состав муравьев (Hymenoptera, Formicidae) // Динамика экосистем Новосибирского Академгородка. – 2013. – № 1. – С. 269-275
6. Новгородова Т.А., Гаврилюк А.В. Степень защиты различных муравьев (Hymenoptera: Formicidae) обеспечивают тли от афидофагов // Европейский энтомологический журнал. – 2012. – Т. 109. №2. – С. 187-196
7. Синчук О.В. Определитель муравьев (Hymenoptera: Formicidae) Беларуси. – Минск: БГУ, 2015. – 50 с.
8. Оралбаева Ж. Құмырсқаның илеуі // Сыр бойы. – 2011. №6. – 25 б.
9. Radchenko A., Perkovsky E., Vasilenko D. Formica species (Hymenoptera, Formicidae, Formicinae) in late Eocene Rovno amber // Journal of Hymenoptera research. – 2021. – Vol. 82. – P. 237-251
10. Richards M. Size and shape in Formica ant workers // Insectes sociaux. – 2020. – Vol. 67. – P. 457-458
11. Bharti H., Sasi S., Radchenko A. Biogeography and Ecology of Myrmica species (Formicidae: Myrmicinae) in Himalayan regions // Sociobiology. – 2016. – Vol. 63. – P. 956-975
12. Seifert V. Hybridization in the European carpenter ants *Camponotus herculeanus* and *C. ligniperda* (Hymenoptera: Formicidae) // Insectes sociaux. – 2019. – Vol. 66. – P. 365-374
13. Van Buggenum, Harry J. Presence after three decades of red wood ants (*Formica rufa* group; Hymenoptera: Formicidae) in forests in an agricultural landscape // European journal of Entomology. – 2022. – Vol. 119. – P. 85-91
14. Длусский Г.М. Муравьи рода формика (Hymenoptera, Formicidae, G. Formica) // Академия наук СССР институт морфологии животных им. А.Н. Северцова. – Москва: «Наука», 1967. – С. 25-99

А.М. Назарбеков, Б.Н. Қасымханова, М.Г. Қуанышбаева, Г.С. Сапарова

Университет имени Шакарима г. Семей, Семей, Казахстан

Видовой состав муравьев Семейского региона

Аннотация. В данной статье представлены результаты работы по видовому составу и биологии муравьев Семипалатинского региона. Приведены характеристики основных видов кувшинов. В настоящее время в мире насчитывается около 15800 видов формицидов, из них

около 117 видов встречаются в Казахстане. Исследования муравьев Семипалатинского региона проводились в весенне-летний период 2021-2022 годов. Исследования проводились в Сосновом Бору Семипалатинского региона, поселке Бобровка, острове Бейбитшилик, поселке Птичник, Восточном поселке, Старом Кургане и населенных пунктах правого и левого берегов Иртыша. По результатам исследования выявлено 25 видов формицидов, относящихся к 6 родам, среди которых чаще всего встречаются представители родов *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius*. Из них по количественным отношениям род *Formica* составляет 44%, род *Camponotus*-20%, род *Cataglyphis*-4%, род *Myrmica*-20%, род *Lasius*-8%, род *Monomorium*-4%.

Ключевые слова: *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius*, *Monomorium*.

A.M. Nazarbekov, B.N. Kasymkhanova, M.N. Kuanyshbaeva, G.S. Saparova

Shakarim Semey University, Semey, Kazakhstan

Species composition of ants of the Semey region

Abstract. This article presents the results of work on the species composition and biology of ants in the Semipalatinsk region. The characteristics of the main species of ants are given. Currently, there are about 15,800 species of formicids worldwide, of which about 117 species are found in Kazakhstan. The study of ants of the Semipalatinsk region was carried out in the spring and summer of 2021-2022. The research was carried out in the pine forest of the Semipalatinsk region, in the village of Bobrovka, on the island of Beibitshilik, in the village of Ptichnik, in the village of Vostochny, on the land of the old Kurgan and in settlements on the right and left banks of the Irtysh River. According to the results of the study, 25 species belonging to 6 relatives of formicids were identified, among which representatives of the relatives *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius* are most often found. According to the quantitative relationships, the genus *Formica* is 44%, the genus *Camponotus* is 20%, the genus *Cataglyphis* is 4%, the genus *Myrmica* is 20%, the genus *Lasius* is 8%, and the genus *Monomorium* is 4%.

Keywords: *Formica*, *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Myrmica*, *Lasius*, *Monomorium*.

References

1. Novoselov A.L. Biologicheskaya aktivnost muraveinikov *Lasius niger* L. [Biological activity of anthills *Lasius niger* L.] (Germaniya, LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011, 119 p.). [in Russian]
2. Kopilova O.Ju. Sravnitel'naya harakteristika aktinomycetnih kompleksov muraveinikov [Comparative characteristics of actinomycete complexes of anthills] (Germaniya, LAP LAMBERT Acad. Publ., 2010, 99 p.). [in Russian]
3. Gridina T.I. Muravi Urala i ih geograficheskoe raspredelenie [Ants of the Urals and their geographical distribution], *Uspehi sovremennoi biologii* [Successes of modern biology], 123(3), 289-298 (2003). [in Russian]
4. Gilev A.V., Tuneva T.K. Zametki o bioraznoobrazii muravev Urala. Muravi hrebta Nurali (Bashkortostan) [Notes on the biodiversity of ants of the Urals. Ants of the Nurali ridge (Bashkortostan)], *Fauna Urala i Sibiri* [Fauna of the Urals and Siberia], (1), 42-47 (2015). [in Russian]
5. Bugrova N., Omelchenko L., Chesnokova S. Vidovoi sostav muravev Hymenoptera, Formicidae [Species composition of ants (Hymenoptera, Formicidae)], *Dinamika ekosistem Novosibirskogo*

Akademgorodka [Dynamics of ecosystems of Novosibirsk Akademgorodok], 1, 269-275 (2013). [in Russian]

6. Novgorodova T.A., Gavrilyuk A.V. Stepen zaschiti razlichnih muravev (Hymenoptera: Formicidae) obespechivayut tli ot afidofagov [The degree of protection of various ants (Hymenoptera: Formicidae) provide aphids from aphidophages], Evropeiskii entomologicheskii jurnal [European Entomological Journal], 109(2), 187-196 (2012). [in Russian]

7. Sinchuk O.V. Opredelitel muravev (Hymenoptera: Formicidae) Belarusi [Determinant of ants (Hymenoptera: Formicidae) of Belarus] (Minsk, BGU, 2015, 50 p.). [in Russian]

8. Oralbaeva ZH. Kumyrskanyn ileui, Syr bojy [Ant kneading, Cheese length], 6, 25 (2011). [in Kazakh]

9. Radchenko A., Perkovsky E., Vasilenko D. Formica species (Hymenoptera, Formicidae, Formicinae) in late Eocene Rovno amber, Journal of Hymenoptera research, 82, 237-251 (2021).

10. Richards M. Size and shape in Formica ant workers, Insectes sociaux, 67, 457-458 (2020).

11. Bharti H., Sasi S., Radchenko A. Biogeography and Ecology of Myrmica species (Formicidae: Myrmicinae) in Himalayan regions, Sociobiology, 63, 956-975 (2016).

12. Seifert B. Hybridization in the European carpenter ants Camponotus herculeanus and C. ligniperda (Hymenoptera: Formicidae), Insectes sociaux, 66, 365-374 (2019).

13. Van Buggenum, Harry J. Presence after three decades of red wood ants (Formica rufa group; Hymenoptera: Formicidae) in forests in an agricultural landscape, European journal of Entomology, 119, 85-91 (2022).

14. Dlusskij G.M. Murav'i roda formika (Hymenoptera, Formicidae, G. Formica). Akademiya nauk SSSR institut morfologii zhivotnyh im. A.N. Severtsova [Ants of the genus Formica (Hymenoptera, Formicidae, G. Formica). Academy of Sciences of the USSR Institute of Animal Morphology named after. A.N. Severtsova] (Moskva, «Nauka», 1967, 25-99 s) [Moscow, "Science", 1967, 25-99 p.]. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Назарбеков Ә.М. – Семей қаласы Шәкәрім атындағы университеттің 2 курс магистранты, Қашағанов көш., 2, Семей, Қазақстан.

Қасымханова Б.Н. – Семей қаласы Шәкәрім атындағы университеттің 2 курс магистранты, Қашағанов көш., 2, Семей, Қазақстан.

Қуанышбаева М.Г. – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қашағанов көш., 2, Семей, Қазақстан.

Сапарова Г.С. – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қашағанов көш., 2, Семей, Қазақстан.

Nazarbekov A.M. – 2nd year master's student, Shakarim University of Semey, Str. Kashaganov, 6, Semey, Kazakhstan.

Kasymkhanova B.N. – 2nd year master's student, Shakarim University of Semey, Str. Kashaganov, 6, Semey, Kazakhstan.

Kuanyshbaeva M.G. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Shakarim University of Semey, Str. Kashaganov, 6, Semey, Kazakhstan.

Saparova G.S. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Shakarim University of Semey, Str. Kashaganov, 6, Semey, Kazakhstan.



МРНТИ 65.35.29

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-87-102>

Научная статья

Исследование возможности обогащения шоколадных и снековых изделий пробиотическими культурами

Ғ.Р. Смағұл*¹, Ю.А. Синявский², Д.Н. Туйғунов², Т.В. Савенкова³

¹Алматынський технологический университет, Алматы, Қазақстан

²Қазақская академия питания, Алматы, Қазақстан

³Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

*Автор для корреспонденции: s.galiya_22@mail.ru

Аннотация. Алиментарная профилактика метаболических нарушений путем введения в ежедневный рацион населения функциональных и специализированных продуктов питания является одним из эффективных способов решения проблемы снижения роста развития хронических неинфекционных заболеваний. В связи с этим на сегодняшний день растет осведомленность населения в области взаимосвязи между питанием и здоровьем, отражаясь в пищевом поведении жителей. В последние годы наблюдается тенденция роста в области приоритетных разработок новых функциональных и специализированных продуктов питания, обладающих направленными профилактическими свойствами.

В статье представлены сведения по обогащению шоколадных и снековых изделий пробиотическими микроорганизмами. Проанализированы показатели жизнеспособности и ферментативной активности различных ассоциаций пробиотических культур, включающих штаммы *Streptococcus lactis* SL215, *Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus* ST14, *Lactobacillus acidophilus* LA72, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* LB50, *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112, *Bifidobacterium bifidum* BB79 в различных комбинациях. В результате обогащения шоколадных изделий лиофилизированным порошком пробиотических микроорганизмов с видовым составом *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (в соотношении 1:1) было выявлено, что введение консорциума лактобактерий в состав шоколада не оказал существенного влияния на органолептические и реологические показатели продукта. Оценка физико-химических показателей готовых продуктов свидетельствует о высокой пищевой и биологической ценности шоколада.

Ключевые слова: биотехнология, шоколад, снековые продукты, пробиотические микроорганизмы, специализированные продукты, фортификация.

Введение

В настоящее время одной из острых проблем мирового здравоохранения является устойчивое формирование негативной тенденции роста развития хронических неинфекционных заболеваний ввиду резкого ухудшения показателей здоровья населения, а также иммунодефицитных состояний организма [1-3]. К этиологическим причинам данной проблемы можно отнести следующие факторы: современный ритм жизни, вредные привычки, гиподинамию, неправильное питание и т.д. Одним из путей решения проблемы сохранения здоровья населения является алиментарная профилактика хронических неинфекционных заболеваний, характеризующаяся рационализацией питания, путем введения в ежедневный рацион специализированных пищевых продуктов диетического профилактического питания [4].

Растущее осознание связи между характером питания и здоровьем находит свое отражение в современных взглядах потребителей как в Казахстане, так и во всем мире. На сегодняшний день потребители отдают предпочтение органическим продуктам питания, благотворно влияющим на состояние здоровья населения. Данные изменения предпочтений в потребительском поведении и выборе пищевой продукции способствовали формированию новой индустрии функциональных пищевых продуктов. Таким образом, указанная смена парадигмы питания населения привела к приоритетному развитию разработок новых специализированных пищевых продуктов, обладающих направленными профилактическими свойствами. Развитие современных подходов к разработке новых специализированных пищевых продуктов повышенной пищевой и биологической ценности позволит реализовать эффективную политику рационализации питания населения Казахстана [5].

Одним из основных условий выбора базового продукта для фортификации является его массовое потребление. К таким продуктам, безусловно, можно отнести кондитерские изделия, в частности, шоколад. Шоколад – это кондитерское изделие, получаемое из смеси производных какао (*Theobroma cacao* L.), молочных продуктов, сахаров или подсластителей и различных пищевых добавок. Снековые изделия представлены широким набором продуктов, предназначенных для быстрого перекуса в течение дня, к которым также можно отнести и шоколад. Данная категория продуктов имеет уникальный аромат, вкус, структуру и содержит в своем составе комплекс биологически активных веществ, в частности, витамины, макро- и микроэлементы, полифенольные соединения и др. Однако при этом в составе шоколадных изделий обнаружено большое количество сахара (45,3-48,7%), ароматизаторов, консервантов, усилителей вкуса и других пищевых добавок искусственной природы, что значительно снижает его биологическую ценность и может оказать негативное влияние на различные системы организма. В настоящее время предпринимаются многочисленные попытки модификаций рецептуры и технологии производства кондитерских изделий с целью повышения биологической ценности данной категории пищевых продуктов [6-8].

Значительный интерес представляет обогащение пищевых продуктов пробиотическими микроорганизмами, имеющими важное значение в коррекции и

нормализации микробиоты кишечника. На сегодняшний день республиканский рынок пищевых продуктов, содержащих пробиотики, ограничен кисломолочными продуктами и напитками. В связи с этим, целью настоящего исследования явилось исследование возможности обогащения шоколадных и снековых изделий ассоциацией пробиотических микроорганизмов.

Методология исследования

Материалы исследования

Материалами исследования служили образцы специализированного шоколада с добавлением кобыльего молока для диетического профилактического питания, а также пробиотические штаммы лакто- и бифидобактерий производства ООО «Genesis Laboratories», София, Болгария. В целях исследования возможности обогащения шоколадных изделий были оценены показатели жизнеспособности и ферментативной активности штаммов *Streptococcus lactis* SL215, *Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus* ST14, *Lactobacillus acidophilus* LA72, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* LB50, *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112, *Bifidobacterium bifidum* BB79 в различных комбинациях.

Оценка сбразивающей способности пробиотических штаммов

В целях подбора используемых культур лакто- и бифидобактерий для обогащения шоколадных изделий была проанализирована активность пробиотических штаммов путем оценки сбразивающей способности молока исследуемыми штаммами. Метод основан на определении титруемой кислотности исследуемых образцов на различных стадиях ферментации. Для оценки жизнеспособности и ферментативной активности микроорганизмов коровье молоко сквашивалось при температуре $40\pm 2^\circ\text{C}$ и помещалось в термостат. После процесса ферментации образцы нагревали на водяной бане при температуре $23\pm 2^\circ\text{C}$. После этого анализируемые пробы тщательно перемешивали до получения однородной массы, затем гомогенизировали в течение 2 минут и проводили процедуру титрования в присутствии индикатора фенолфталеина.

Анализ физико-химических показателей шоколадных изделий

Анализ белкового состава готовых шоколадных изделий проводился в соответствии с ГОСТ 34551-2019 «Изделия кондитерские. Метод определения массовой доли белка». Согласно методике, была определена массовая доля азота в анализируемой пробе и проведены расчеты с использованием коэффициентов пересчета азота на общий белок.

Анализ массовой доли жира в исследуемых продуктах проводили согласно ГОСТ 31902-2012 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли жира». В соответствии с указанным методом проводили экстракцию жира из образцов шоколадных изделий с использованием растворителей. После выпаривания растворителей определяли массовую долю жира в исследуемых образцах.

Массовую концентрацию углеводов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на аминопрофильной фазе [9].

Определение влаги и сухих веществ в шоколаде проводили согласно ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ». Исследуемые образцы высушивали при температуре $130\pm 2^\circ\text{C}$, после чего проводили расчеты потеряннной массы по отношению к массе анализируемой пробы до высушивания.

Массовую долю золы в шоколадных изделиях определяли в соответствии с ГОСТ 5901-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли золы и металломагнитной примеси». Согласно методике, проводили озоление исследуемых образцов шоколада при температуре 500°C - 600°C , после чего определяли массовую долю общей золы в анализируемой пробе.

Анализ аминокислотного состава шоколадных изделий

Для оценки аминокислотного состава шоколадных изделий применялся метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Анализ заменимых и незаменимых аминокислот проводился на жидкостном хроматографе Perkin Elmer Series 200 – HPLC. Оценку аминокислотного состава исследуемых образцов проводили по МВИ. МН 1363-2000 «Метод определения аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии». Указанная методика выполнения измерений оценки аминокислотного состава пищевых продуктов заключалась в первоначальном удалении липидов путем экстракции органических растворителей, кислотном гидролизе белков, получении ДАБС-производных аминокислот и анализе на жидкостном хроматографе. Условия анализа аминокислотного: температура – $22\pm 3^\circ\text{C}$, влажность воздуха – не более 75%, напряжение сети – $220\pm 20\text{В}$, частота переменного тока – $50\pm 1\text{Гц}$.

Оценка органолептических показателей шоколадных изделий

Исследование органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей шоколадных изделий проводили в соответствии с ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей».

Оценка жизнеспособности пробиотических культур в составе шоколадных изделий

Идентификацию и оценку жизнеспособности пробиотических культур в составе шоколадных изделий проводили в соответствии с ГОСТ Р 56139-2014 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов». Производили высеив анализируемых продуктов, содержащих консорциум пробиотических микроорганизмов в определенных разведениях на селективных питательных средах для поверхностного культивирования. Питательная среда MRS была приготовлена в соответствии с ГОСТ ISO 7218-2011 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям». Идентификация исследуемых штаммов производилась на основании фенотипических признаков чистой культуры штамма: культуральные свойства колоний, морфология клеток,

отношение к окраске по Граму, способность к спорообразованию и т.д. Оценка жизнеспособности пробиотических штаммов в шоколадных изделиях осуществлялась путем подсчета характерных колоний на чашках Петри. Для подсчета использовались чашки, на которых выросло от 10 до 300 колоний. Подсчет производили путем умножения числа выросших колоний на чашке на соответствующее разведение.

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel, рассчитывая среднюю арифметическую параметра, среднее квадратичное отклонение и ошибку средней арифметической. Для сравнения использовали t-критерий Стьюдента, различия считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты

Оценка сбраживающей способности различных ассоциаций пробиотических мик-роорганизмов

С целью подбора пробиотических микроорганизмов для обогащения шоколадных и снековых изделий проводили экспериментальные исследования динамики сквашивания молока различными комбинациями лакто- и бифидобактерий, производства ООО «Genesis», Болгария. Видовой состав и температура внесения исследуемых комбинаций представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика исследуемых видов заквасок

| № п/п | Наименование закваски | Видовой состав | Температура внесения, °С |
|-------|--|--|--------------------------|
| 1 | Комбинация лиофилизированных пробиотических культур ВУ (Консорциум №1) | <i>Bifidobacterium bifidum</i> BB79, <i>Streptococcus lactis</i> SL215, <i>Lactobacillus acidophilus</i> LA72 (в соотношении 1:1:1) | 40±2 |
| 2 | Комбинация лиофилизированных пробиотических культур ВА (Консорциум №2) | <i>Streptococcus salivarius</i> sp. <i>thermophilus</i> ST14, <i>Lactobacillus delbrueckii</i> sp. <i>bulgaricus</i> LB50, <i>Lactobacillus acidophilus</i> LA72 (в соотношении 1:1:1) | 40±2 |
| 3 | Комбинация лиофилизированных пробиотических культур СР (Консорциум №3) | <i>Lactobacillus case</i> LC005i, <i>Lactobacillus rhamnosus</i> LR112 (в соотношении 1:1) | 40±2 |

В целях оценки сбраживающей способности выбранных консорциумов пробиотических микроорганизмов была исследована эффективность кислотообразования в процессе ферментации. Для анализа сбраживающей активности к используемым

консорциумам штаммов пробиотических микроорганизмов предъявлялись следующие исходные требования: функциональная эффективность, пробиотическое взаимодействие, высокие показатели титра, а также высокая способность к кислотообразованию. Результаты исследования эффективности кислотообразования представлены на рисунке 1.

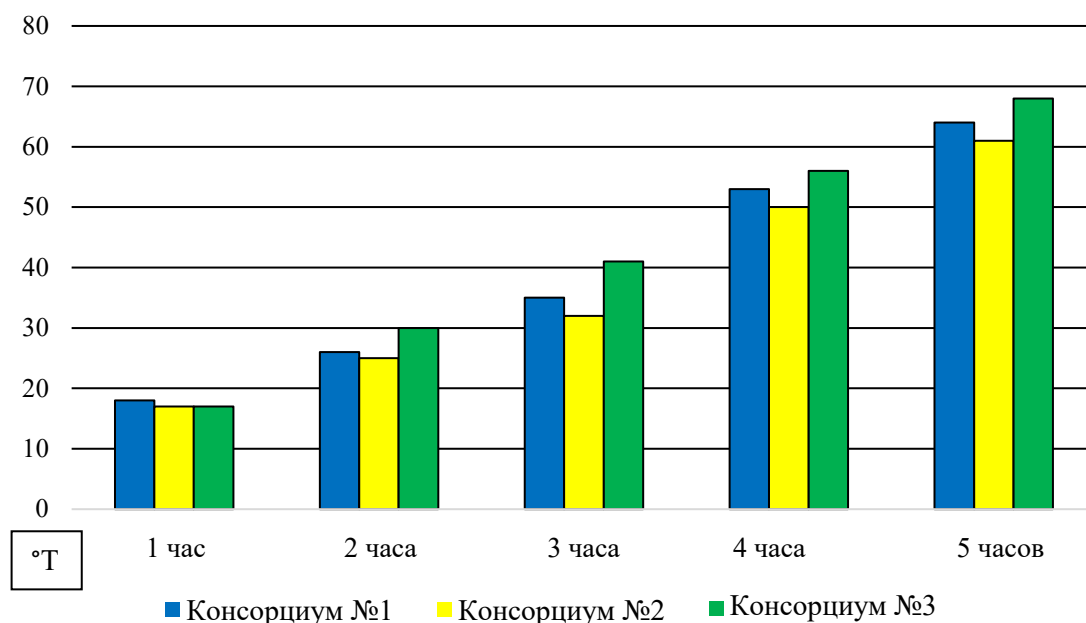


Рисунок 1. Титруемая кислотность образцов в процессе ферментации

По результатам сравнительного анализа динамики сквашивания молока различными ассоциациями пробиотических микроорганизмов было выявлено, что наилучшей сбраживающей способностью обладает комбинация лиофилизированных пробиотических культур CR (Консорциум №3) с видовым составом *Lactobacillus casei* LC005 и *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (в соотношении 1:1). Данный консорциум лактобактерий был выбран в качестве функционального ингредиента для обогащения шоколадных изделий с пробиотическими микроорганизмами.

Исследование оптимальной дозировки вносимых пробиотических микроорганизмов в состав шоколадных изделий

Для определения оптимальной дозы вносимого функционального компонента, содержащего консорциум пробиотических микроорганизмов, было исследовано влияние пробиотиков на органолептические и реологические свойства молочного шоколада. Опытными образцами служили шоколадные изделия с добавлением кобыльего молока и лиофилизированных пробиотических микроорганизмов (ЛППМ) в различных концентрациях. В качестве контрольного образца был взят молочный шоколад с добавлением коровьего молока, без пробиотиков. Результаты исследования органолептических свойств приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние пробиотических микроорганизмов на реологические и органолептические свойства шоколадных изделий

| № п/п | Наименование образцов | Внешний вид | Вкус и аромат | Структура | Форма | Текстура |
|-------|-----------------------|--|--|---|---|----------|
| 1 | Контроль | Лицевая поверхность волнистая с характерным рисунком | Сладкий с привкусом молока, без горечи | Однородная | Соответствующая рецептуре, без деформаций | Твердая |
| 2 | ЛППМ 1% | Лицевая поверхность волнистая с характерным рисунком | Сладкий с привкусом молока, без горечи | Однородная, с единичными вкраплениями ЛППМ | Соответствующая рецептуре, без деформаций | Твердая |
| 3 | ЛППМ 2% | Лицевая поверхность волнистая с характерным рисунком | Сладкий с привкусом молока, без горечи | Однородная, с единичными вкраплениями ЛППМ | Соответствующая рецептуре, без деформаций | Твердая |
| 4 | ЛППМ 5% | Лицевая поверхность волнистая с характерным рисунком | Сладкий с привкусом молока, без горечи | Наблюдается рыхлость в структуре, обусловленная добавлением ЛПМ | Имеются незначительные деформации формы шоколада, обусловленные добавлением ЛПМ | Твердая |

Сравнительная оценка органолептических показателей контрольных и опытных образцов шоколадных изделий по десятибалльной шкале приведена на рисунке 2.

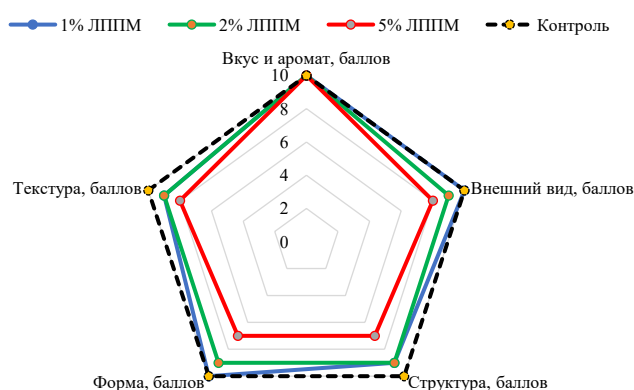


Рисунок 2. Профилограмма сравнительной оценки органолептических показателей опытных и контрольных образцов шоколадных изделий

В результате оценки сенсорных характеристик шоколадных изделий с целью исследования оптимальной дозы вносимого функционального компонента было выявлено, что добавление консорциума лиофилизированных порошков пробиотических микроорганизмов, в концентрации 1% и 2%, в состав шоколадных снековых изделий не оказал существенных различий в сравнении с контрольными образцами. С увеличением дозы вносимого ЛППМ до концентрации 5% в составе шоколада установлены значительные изменения органолептических характеристик исследуемых продуктов, в частности, наблюдалось образование некоторой рыхлости в структуре, а также незначительная деформация формы шоколадных изделий и снеков, обусловленные добавлением лиофилизированного порошка пробиотических микроорганизмов. Наиболее гармоничными являются сенсорные характеристики образцов шоколада с добавлением ЛППМ в концентрации 2%. На основании результатов проведенной органолептической оценки оптимальной дозой вносимого функционального компонента установлено 2 г лиофилизированного порошка пробиотических микроорганизмов на 100 г готового шоколада. На рисунке 3 приведен внешний вид обогащенных пробиотическими микроорганизмами опытного образца шоколада.



Рисунок 3. Внешний вид разработанного шоколада, обогащенного консорциумом пробиотических микроорганизмов

Оценка физико-химических показателей разработанных шоколадных изделий

В рамках проведения исследования проанализированы физическо-химические показатели, а также пищевая и энергетическая ценность шоколадных изделий «ULYTAU» с добавлением кобыльего молока, обогащенных пробиотическими микроорганизмами. Результаты анализа приведены в таблице 3.

Таблица 3

Анализ пищевой и энергетической ценности, а также физико-химических показателей шоколадных изделий

| № п/п | Наименование показателей | Шоколад без добавок | Шоколад, обогащенный ЛППМ |
|-------|-----------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1 | Белки, г | 7,11±0,15 | 7,40±0,15 |
| 2 | Жиры, г | 33,89±0,27 | 33,84±0,27 |
| 3 | Углеводы, г | 53,84±2,69* | 53,60±2,68* |
| 4 | Влага | 3,91±0,015 | 3,96±0,015 |
| 5 | Зола | 1,25±0,0001 | 1,20±0,0001 |
| 6 | Энергетическая ценность, ккал/кДж | 549/2297 | 549/2297 |

* статистически значимое отличие ($p < 0,05$).

Известно, что лакто- и бифидобактерии также обладают способностью продуцировать незаменимые аминокислоты, тем самым повышая биологическую ценность продукта. В этой связи в шоколадных изделиях «ULYTAU», обогащенных лиофилизированным порошком пробиотических микроорганизмов, определено содержание свободных аминокислот. Аминокислотный состав шоколадных изделий представлен в таблице 4.

Таблица 4

Аминокислотный состав шоколадных изделий

| № п/п | Наименование аминокислоты | Шоколад без добавок, мг/100 г | Шоколад, обогащенный ЛППМ, мг/100 г |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Незаменимые аминокислоты, мг | | | |
| 1 | Триптофан | 2,8±0,3 | 3,1±0,3 |
| 2 | Фенилаланин | 281,3±28,1* | 279,9±29,9* |
| 3 | Лизин | 389,4±28,9* | 399,2±39,9* |
| 4 | Изолейцин | 205,3±8,5 | 204,3±9,4 |
| 5 | Метионин | 95,6±3,6 | 95,6±3,4* |
| 6 | Валин | 294,0±11,4 | 299,1±13,9 |
| 7 | Лейцин | 659,0±45,9* | 667,2±26,7 |
| 8 | Треонин | 255,0±10,5 | 279,9±11,0 |
| Заменимые аминокислоты, мг | | | |
| 9 | Гистидин | 197,9±8,8 | 197,3±8,7 |
| 10 | Пролин | 123,05±4,3 | 125,2±5,5 |

| | | | |
|----|-----------------------|-------------|-------------|
| 11 | Цистеин | 73,3±7,1* | 74,5±6,5* |
| 12 | Глицин | 184,6±12,5* | 189,1±11,9* |
| 13 | Тирозин | 180,4±8,0 | 178,8±6,9 |
| 14 | Аланин | 274,3±11,4 | 282,2±11,2 |
| 15 | Глутаминовая кислота | 1104,5±40,5 | 1181,8±38,2 |
| 16 | Аргинин | 403,6±25,4* | 405,9±25,6* |
| 17 | Аспарагиновая кислота | 974,6±25,5 | 1026,1±32,6 |
| 18 | Серин | 209,1±9,9 | 224,9±10,5 |

* статистически значимое отличие ($p < 0,05$).

Изменение аминокислотного состава шоколадных изделий обусловлено жизнедеятельностью пробиотических микроорганизмов. В процессе жизнедеятельности лактобактерий накапливаются аминокислоты лизин, валин, лейцин, треонин, пролин, глицин, аланин, глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота и серин. На основании полученных результатов аминокислотного состава шоколадных изделий был рассчитан аминокислотный скор незаменимых аминокислот исследуемых образцов. Результаты расчетов аминокислотного скор приведены в таблице 5.

Таблица 5

Аминокислотный скор незаменимых аминокислот шоколадных изделий

| № п/п | Наименование аминокислоты | Эталон ФАО мг/1 г белка | Аминокислотный скор | |
|-------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| | | | Шоколад без добавок, мг/1 г белка | Шоколад, обогащенный ЛППМ, мг/1 г белка |
| 1 | Валин | 40,0 | 103,4 | 105,8 |
| 2 | Изолейцин | 30,0 | 96,3 | 95,8 |
| 3 | Лейцин | 61,0 | 151,9 | 153,8 |
| 4 | Лизин | 48,0 | 114,1 | 117,0 |
| 5 | Метионин+цистеин | 23,0 | 103,4 | 103,3 |
| 6 | Треонин | 25,0 | 143,5 | 157,5 |
| 7 | Триптофан | 6,60 | 5,97 | 6,35 |
| 8 | Фенилаланин+тирозин | 41,0 | 158,4 | 157,9 |

Полученные данные, представленные в таблице 5, свидетельствуют о том, что лимитирующей аминокислотой в образцах шоколадных изделий, обогащенных консорциумом пробиотических микроорганизмов с видовым составом *Lactobacillus casei* LC005 и *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (в соотношении 1:1), является триптофан (содержание в 100 г – 3,1±0,3 мг, аминокислотный скор – 6,35 мг в пересчете на 1 г

белка). При этом в стандартном образце шоколада без добавок количество триптофана составило $2,8 \pm 0,3$ мг на 100 г продукта. По данным исследований аминокислотного состава образцов шоколада было выявлено, что введение в состав шоколадных изделий лиофилизированного порошка консорциума пробиотических микроорганизмов, включающих *Lactobacillus casei* LC005 и *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (в соотношении 1:1), способствует оптимизации аминокислотного состава, приближая шоколад к эталонному белку по ФАО.

Оценка жизнеспособности пробиотических культур в шоколадных изделиях

С целью идентификации и оценки жизнеспособности пробиотических микроорганизмов в составе шоколадных изделий на седьмые сутки после введения ассоциации лактобактерий в состав шоколада было проведено микробиологическое исследование выживаемости исследуемых штаммов. Посевы образцов шоколадных изделий были выполнены на питательной среде MRS. Идентификация пробиотических микроорганизмов проводилась на основании фенотипических признаков чистой культуры штамма. Результаты микробиологических исследований приведены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты микробиологических исследований шоколадных изделий

| № п/п | Наименование образцов | <i>Lactobacillus casei</i> LC005, КОЕ г/см ³ | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> LR112, КОЕ г/см ³ |
|-------|---------------------------|---|---|
| 1 | Стандартный образец | – | – |
| 2 | Шоколад, обогащенный ЛППМ | $1,6 \times 10^9$ | $1,3 \times 10^9$ |

Результаты микробиологического исследования свидетельствуют о схожей активности пробиотических штаммов *Lactobacillus casei* LC005 и *Lactobacillus rhamnosus* LR112 в исследуемых пищевых матрицах, демонстрируя высокие показатели титра.

Обсуждение

В настоящее время существует два способа обогащения кондитерских изделий пробиотическими микроорганизмами – метод прямого внесения, характеризующийся обогащением продукта лиофилизированными порошками пробиотических микроорганизмов [10-11], также метод инкапсуляции пробиотиков с использованием различных гелей и других матриц [12-13]. Для обогащения шоколада консорциум пробиотических микроорганизмов вносился в виде лиофилизированного порошка. С целью определения вносимой дозы пробиотических культур были выработаны опытные партии шоколадных изделий с введением лиофилизированных порошков пробиотических микроорганизмов в количестве 1 г, 2 г и 5 г (ЛППМ 1%, ЛППМ 2% и ЛППМ 5%) на 100 г готового продукта.

В целях оценки сбразживающей способности была проанализирована титруемая кислотность образцов после каждого часа ферментации в течение 5 часов. После подбора пробиотических культур и оптимальных условий внесения была произведена выработка лабораторных партий шоколадных изделий, обогащенных пробиотическими микроорганизмами.

Оценка органолептических характеристик исследуемых кондитерских изделий, в частности, шоколада, позволяет определить, как выглядит продукт с точки зрения потребителя по показателям внешнего вида, вкуса и аромата, текстуры, формы, вкуса, аромата, структуры и общего восприятия. Исследование органолептических свойств шоколадных изделий проводилось методом визуального и дегустационного анализа, основанного на десятибалльной оценке каждого показателя сенсорных характеристик.

Оценка физико-химических свойств шоколадных изделий показала, что добавление в состав шоколадных изделий консорциума лиофилизированных пробиотических микроорганизмов способствовало повышению уровня белков в исследуемых образцах на 4,44%. По другим показателям пищевой и энергетической ценности, введение в состав шоколадных изделий лиофилизированных пробиотических микроорганизмов не оказало значительных изменений свойств продукта.

Следует отметить, что немаловажной составляющей при разработке функциональных пищевых продуктов, обогащенных пробиотическими микроорганизмами, является активность исходного инокулята, зависящая от температуры и времени хранения, рН, взаимодействия с другими компонентами и др. Указанные факторы оказывают значительное влияние на выживаемость пробиотических микроорганизмов в составе продуктов-носителей. Сохранение активности и жизнеспособности вносимых пробиотических культур в течение длительного периода времени является важным критерием при разработке функциональных и специализированных продуктов диетического профилактического питания.

Полученные результаты свидетельствуют о высоких перспективах расширения ассортимента ряда пробиотических продуктов питания с направленными профилактическими свойствами.

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных физико-химических, технологических и микробиологических исследований можно сделать вывод, что шоколадные изделия могут служить подходящими носителями пробиотических культур, сохраняя жизнеспособность и активность штаммов молочнокислых и бифидобактерий. Шоколадные изделия, обогащенные ассоциацией пробиотических микроорганизмов, обладают выраженными противомикробными, иммуномодулирующими, микробиоценоз нормализующими и антитоксическими свойствами.

Представленные данные имеют важное значение в разработке функциональных и специализированных продуктов питания диетического и профилактического питания для расширения ассортимента ряда республиканского рынка данной категории продукции.

Вклад авторов

Смағұл Ғ.Р. – определение дизайна исследования, выполнение экспериментальной части исследования, написание текста; Синявский Ю.А. и Савенкова Т.В. – редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи для публикации; Туйгунов Д.Н. – выполнение экспериментальной части исследования, написание текста.

Список литературы

1. Bennett J.E. et al. NCD Countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4 // *The Lancet*. – 2018. – Т. 392. – №. 10152. – P. 1072-1088. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31992-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31992-5).
2. Nugent R. et al. Investing in non-communicable disease prevention and management to advance the Sustainable Development Goals // *The Lancet*. – 2018. – Т. 391. – №. 10134. – P. 2029-2035. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30667-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30667-6).
3. Nithya A., Misra S., Panigrahi Ch., et al. Probiotic potential of fermented foods and their role in non-communicable diseases management: An understanding through recent clinical evidences // *Food Chemistry Advances*. – 2023. – Vol. 3. – P. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100381>.
4. Di Daniele N. The role of preventive nutrition in chronic non-communicable diseases // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 5. – P. 1074-1076. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051074>.
5. Medina-Mendoza M., Castro-Alayo E.M., Balcazar C.R., et al. Conching process time, sauco by-product concentration, and sacha inchi oil levels identification for the enrichment of dark chocolate // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19886>.
6. Samanta S., Sarkar T., Chakraborty R., et al. Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches // *Current Research in Food Science*. – 2022. – Vol. 5. – P. 1916-1943 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>.
7. Kheto A., Bhati A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of Inulin as a Functional Ingredient in Food: Processing, Physicochemical Characteristics, Food Applications, and Future Research Directions // *Food Chemistry Advances*. – 2023. – Vol. 9. – P. 100443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>.
8. Medina-Mendoza M. et al. Conching process time, sauco by-product concentration, and sacha inchi oil levels identification for the enrichment of dark chocolate // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19886>.
9. Соколов М.И., Верзилина Н.Д., Рудаков О.Б., соавт. Экспресс анализ сахаров методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // *Пищевая промышленность*. – 2004. – №8. – С. 94-95.
10. Manoj P.M., Mohan J.R., Khasherao B.Y., et al. Fruit based probiotic functional beverages: A review // *Journal of Agriculture and Food Research*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100729>.
11. Do Nascimento R.R., Pimentel T.C., Garcia S., Prudencio S.H. Acacia gum candy with *Limosilactobacillus reuteri* and lemongrass essential oil: Effect of storage time on physicochemical characteristics and probiotic survival // *Food Bioscience*. – 2023. – Vol. 56. – P. 103128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103128>.
12. Kistaubayeva A., Abdulzhanova M., Zhantlessova S., Savitskaya I., Karpenyuk T., Goncharova A., Sinyavskiy Yu. The Effect of Encapsulating a Prebiotic-Based Biopolymer Delivery System for Enhanced Probiotic Survival // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15(7). – P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15071752>.

13. Pandey P., Mettu S., Mishra H.N., Ashokkumar M., Martin G. Multilayer co-encapsulation of probiotics and γ -amino butyric acid (GABA) using ultrasound for functional food applications // LWT. – 2021. – Vol. 146. – P. 111432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111432>.

Ғ.Р. Смағұл¹, Ю.А. Синявский², Д.Н. Туйгунов², Т.В. Савенкова³

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қазақ тағамтану академиясы, Алматы, Қазақстан

³Г.В. Плеханов атындағы Ресей экономикалық университеті, Мәскеу, Ресей

Шоколад және снэк өнімдерін пробиотикалық дақылдармен байыту мүмкіндігін зерттеу

Аңдатпа. Халықтың күнделікті рационына функционалды және мамандандырылған тағамдарды енгізу арқылы зат алмасу бұзылыстарының тағамдық профилактикасы көптеген жұқпалы емес аурулардың дамуын төмендетуді шешудің тиімді жолдарының бірі болып табылады. Осыған байланысты, бүгінгі таңда тұрғындардың тамақтану мен денсаулығын сақтау арасындағы байланыс хабардарлығы артып келеді, бұл тұрғындардың тамақтану тәртібінен көрінеді.

Мақалада шоколад өнімдерін пробиотикалық микроорганизмдермен байыту мүмкіндігі туралы ақпарат берілген. Пробиотикалық дақылдардың әртүрлі бірлестіктерінің, соның ішінде әртүрлі комбинациялардағы *Streptococcus lactis* SL215, *Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus* ST14, *Lactobacillus acidophilus* LA72, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* LB50, *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112, *Bifidobacterium bifidum* BB79 штамдарының өміршеңдігі мен ферментативті белсенділігінің көрсеткіштері зерттелді. Шоколад өнімдерін *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (1:1 қатынасында) пробиотикалық микроорганизмдердің лиофилденген ұнтағымен байыту нәтижесінде өнімдердің органолептикалық және реологиялық қасиеттері жағынан айтарлықтай айырмашылықтар болмағаны анықталды. Дайын өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштерін бағалау шоколадтың жоғары тағамдық және биологиялық құндылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: биотехнология, шоколад, пробиотикалық микроорганизмдер, мамандандырылған өнімдер, фортификация.

G.R. Smagul¹, Yu.A. Sinyavskiy², D.N. Tuigunov², T.V. Savenkova³

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh Academy of Nutrition, Almaty, Kazakhstan

³Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Study of the possibility of fortification chocolate and snack products with probiotic cultures

Abstract. Nutritional prevention of metabolic disorders, by introducing functional and specialized foods into the daily diet of the population, is one of the effective ways to solve the problem of reducing the growth of chronic non-communicable diseases. In this regard, today the awareness of the population in the field of the relationship between nutrition and health is growing, reflected in the eating behavior of the inhabitants.

The article presents information on the enrichment of chocolate products with probiotic microorganisms. The indicators of viability and enzyme activity of various associations of probiotic

cultures, including strains of *Streptococcus lactis* SL215, *Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus* ST14, *Lactobacillus acidophilus* LA72, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* LB50, *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112, *Bifidobacterium bifidum* BB79 in various combinations, were analyzed. As a result of the fortification of chocolate products with lyophilized powder of probiotic microorganisms with the species composition of *Lactobacillus casei* LC005, *Lactobacillus rhamnosus* LR112 (at a ratio of 1: 1), it was found that the introduction of lactic acid bacteria did not have significant differences in the organoleptic and rheological parameters of the product. The evaluation of the physico-chemical parameters of finished products indicates a high nutritional and biological value of chocolate.

Keywords: biotechnology, chocolate, probiotic microorganisms, specialized products, fortification.

References

1. Bennett J.E. et al. NCD Countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4, *The Lancet*, 10152(392) 1072-1088 (2018). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31992-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31992-5).
2. Nugent R. et al. Investing in non-communicable disease prevention and management to advance the Sustainable Development Goals, *The Lancet*, 10134(391), 2029-2035 (2018). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30667-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30667-6).
3. Nithya A., Misra S., Panigrahi Ch., et al. Probiotic potential of fermented foods and their role in non-communicable diseases management: An understanding through recent clinical evidences, *Food Chemistry Advances*, 3, 1-11 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100381>.
4. Di Daniele N. The role of preventive nutrition in chronic non-communicable diseases, *Nutrients*, 5, 1074-1076 (2019). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051074>.
5. Medina-Mendoza M., Castro-Alayo E.M., Balcazar C.R., et al. Conching process time, sauco by-product concentration, and sacha inchi oil levels identification for the enrichment of dark chocolate, *Heliyon*, 9, 1-12 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19886>.
6. Samanta S., Sarkar T., Chakraborty R., et al. Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches, *Current Research in Food Science*, 5, 1916-1943 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>.
7. Kheto A., Bhati A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of Inulin as a Functional Ingredient in Food: Processing, Physicochemical Characteristics, Food Applications, and Future Research Directions, *Food Chemistry Advances*, 9, 100443 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>.
8. Medina-Mendoza M. et al. Conching process time, sauco by-product concentration, and sacha inchi oil levels identification for the enrichment of dark chocolate, *Heliyon*, 9, 1-12 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19886>.
9. Sokolov M.I., Verzilina N.D., Rudakov O.B., soavt. Jekspress analiz saharov metodom vysokoeffektivnoj zhidkostnoj hromatografii, *Pishhevaja promyshlennost'* [Express analysis of sugars by high performance liquid chromatography, *Food industry*], 8, 94-95 (2004). [in Russian]
10. Manoj P.M., Mohan J.R., Khasherao B.Y., et al. Fruit based probiotic functional beverages: A review, *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 1-7 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100729>.
11. Do Nascimento R.R., Pimentel T.C., Garcia S., Prudencio S.H. Acacia gum candy with *Limosilactobacillus reuteri* and lemongrass essential oil: Effect of storage time on physicochemical characteristics and probiotic survival, *Food Bioscience*, 56, 103128 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103128>.

12. Kistaubayeva A., Abdulzhanova M., Zhantlessova S., Savitskaya I., Karpenyuk T., Goncharova A., Sinyavskiy Yu. The Effect of Encapsulating a Prebiotic-Based Biopolymer Delivery System for Enhanced Probiotic Survival, *Polymers*, 15(7), 1-15 (2023). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15071752>.

13. Pandey P., Mettu S., Mishra H.N., Ashokkumar M., Martin G. Multilayer co-encapsulation of probiotics and γ -amino butyric acid (GABA) using ultrasound for functional food applications, *LWT*, 146, 111432 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111432>.

Сведения об авторах:

Смағұл Ғ.Ғ. – автор для корреспонденции, PhD докторант, кафедра пищевой биотехнологии, Алматинский технологический университет, улица Толе Би, 100, Алматы, Казахстан.

Синявский Ю.А. – доктор биологических наук, профессор, вице-президент, Казахская академия питания, улица Клочкова, 66, Алматы, Казахстан.

Түйгунов Д.Н. – магистр технических наук, научный сотрудник, Казахская академия питания, улица Клочкова, 66, Алматы, Казахстан.

Савенкова Т.В. – доктор технических наук, профессор, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, Россия.

Smagul G.R. – corresponding author, 3rd course PhD doctoral student of the Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Tole Bi Street, 100, Almaty, Kazakhstan.

Sinyavskiy Yu.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-President, Kazakh Academy of Nutrition, Klochkov Street, 66, Almaty, Kazakhstan.

Tuigunov D.N. – Master of technical sciences, researcher, Kazakh Academy of Nutrition, Klochkov Street, 66, Almaty, Kazakhstan.

Savenkova T.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny per. 36, Moscow, Russia.



МРНТИ 34.39.17

Обзорная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-103-113>

Возрастные особенности показателей структурной МРТ головного мозга и методы их квантификации

О.Ю. Кабенова¹, Р. Шугждейте², А.М. Кустубаева^{1*}

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Университет Кэмбридж, Кэмбридж, Великобритания

*Автор для корреспонденции: almkusto@kaznu.kz

Аннотация. Понимание формирования траекторий структурного развития головного мозга является важной научной задачей для выявления закономерностей и прогнозирования этапов созревания мозга. В этом обзоре систематически рассматриваются исследования анатомического развития головного мозга детей и подростков на основе структурной магнитно-резонансной томографии. Литературные данные имеют разрозненный характер, связанный с демографическими данными, такими, как пол и возраст, а также с методическими подходами морфометрии. Результаты большинства исследований указывают на гетерохронные процессы созревания в разных участках головного мозга. Во многих исследованиях были выявлены половые различия, отражающихся в более высоких значениях объемных показателей у представителей мужского пола. Проанализированы современные методы квантификации структурной магнитно-резонансной томографии, позволяющие определить значение более двухсот параметров. Определены преимущества поверхностной морфометрии с использованием программного обеспечения FreeSurfer для квантификации данных структурной магнитно-резонансной томографии. Обоснована необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований возрастных изменений показателей поверхностной морфометрии в соотношении с эмоционально-когнитивными функциями у детей с 7 до 20 лет.

Ключевые слова: развитие головного мозга, морфология головного мозга, структурная магнитно-резонансная томография, поверхностная морфометрия (SBM), половые различия, возрастные различия, FreeSurfer.

Введение

Исследование возрастных особенностей головного мозга (ГМ) является актуальной задачей в нейронауке для возможности своевременного предупреждения отклонений от нормального развития. Использование метода структурной магнитно-резонансной томографии (МРТ) расширило потенциал для понимания механизмов созревания ГМ человека. Проведенные МРТ исследования с применением современных методов анализа, таких, как воксельная и поверхностная морфометрия, за последние десятилетия существенно продвинули знания в этой области. Применение более точных методов квантификации позволили определить возрастные характеристики структурных показателей ГМ: общие объемы серого и белого вещества и объемы подкорковых структур, площадь, толщина, плотность отдельных участков коры головного мозга. Несмотря на это, для формирования четких представлений о закономерностях развития ГМ необходимы новые исследования, способные прогнозировать динамику неразрывного процесса развития ГМ.

В данной статье мы предоставляем краткий обзор основных научных исследований в данной области, предварительно раскрываем только основные подходы к анализу структурной МРТ головного мозга, а также предоставляем некоторые методические данные проведенного нами МРТ исследования развития головного мозга у детей и подростков в возрасте 7-20 лет.

Методы

Обзор литературы был проведен с использованием базы данных PubMed 20 марта 2023 года. Ключевыми словами для поиска были следующие термины: «анатомия мозга», «развитие головного мозга», «МРТ», «FreeSurfer». Статьи, описывающие половые и возрастные особенности развития головного мозга, были отобраны, проанализированы и обобщены.

Результаты

Человеческий мозг претерпевает динамические структурные изменения в процессе развития, которые продолжаются в раннем взрослом возрасте и за его пределами. Интересно, что такие факторы, как пол, когнитивные способности или психические расстройства, часто в большей степени связаны с изменениями в траекториях развития областей мозга, чем с различиями в структуре мозга на любом этапе развития [1,2,3,4,5]. В таблице 1 приведены научные публикации, проанализированные для написания данной статьи, найденные по поиску в системе PubMed с ключевыми словами «анатомия мозга», «развитие головного мозга», «МРТ», «FreeSurfer».

По результатам лонгитюдного исследования развития ГМ в возрасте от 4 до 24 лет, Giedd с соавторами (1999) выявили линейное увеличение объема белого вещества (БВ), тогда как изменение объема серого вещества (СВ) коры головного мозга (КГМ)

оказались нелинейными, демонстрируя тенденцию его увеличения до подросткового возраста с последующим уменьшением в постподростковом периоде. Интересно, что объемы СВ разных долей КГМ достигали своих пиковых значений в разном возрасте: во фронтальной и теменной долях относительный максимум достигался к 12 годам, в височной - примерно в 16 лет, в затылочной доле рост продолжался до 20 лет [1]. Lange с соавторами (2012) выявил возрастные особенности уменьшения объема СВ и увеличения БВ. При этом наблюдается левосторонняя асимметрия в затылочном СВ и БВ, височном БВ, хвостом ядре и бледном шаре, а в височной доле СВ была выявлена правосторонняя асимметрия [6]. Исследуя траектории развития ГМ, Wierenga с соавторами (2016) установил, что в большинстве участков толщина коры с возрастом линейно уменьшалась, в то время как объем коры и площадь поверхности демонстрировали криволинейные траектории. В среднем максимальная площадь поверхности коры головного мозга была достигнута позже максимального объема в процессе развития [2]. Ducharme с соавторами (2016), исследуя траектории развития ГМ, установил, что большинство областей мозга показали линейное уменьшение толщины КГМ. В основном в височно-теменных областях обоих полушарий и в правой префронтальной коре пики толщины приходились на 8 лет или ранее [3]. Lange с соавторами провел крупномасштабное исследование с использованием полностью автоматизированных аналитических подходов к МРТ данным 200 здоровых детей и пришел к выводу, что глобальные закономерности развития были очевидны как в сером, так и в белом веществе: серое вещество уменьшалось, а белое вещество значительно увеличивалось с возрастом. Потеря серого вещества была наиболее выражена в теменных долях и наименее выражена в поясной извилине и в задних височных областях. Увеличение объема белого вещества с возрастом было почти равномерным, с акцентом на пирамидальный тракт [7].

Таблица 1

**Основные исследования возрастных изменений структурных показателей
головного мозга с применением МРТ**

| № | Год | Авторы | Выборка | Метод анализа МРТ данных | МРТ сканирование | Полученные параметры |
|---|------|--------------------|--------------------|------------------------------|------------------|--|
| 1 | 2011 | N. Lange | 4-18 летние, N=433 | Воксельная морфометрия (VBM) | GE Signa 1.5T | общие и отдельные объемы ГМ |
| 2 | 1999 | Jay N. Giedd и др. | 4-24 летние, N=145 | Воксельная морфометрия (VBM) | GE Signa 1.5T | парцелляция объемов серого и белого вещества головного мозга |
| 3 | 2004 | Jay N.Giedd | 4-18 летние, N=161 | Воксельная морфометрия (VBM) | GE Signa 1.5T | парцелляция объемов серого и белого вещества головного мозга |

| | | | | | | |
|----|------|----------------------|----------------------|--|-------------------------|--|
| 4 | 2011 | P. Shaw и др. | 7-19 летние, N=171 | Поверхностная морфометрия (SBM) | GE Signa 1.5T | парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга |
| 5 | 2006 | P. Shaw и др. | 7-19 летние, N=307 | Поверхностная морфометрия (SBM) | GE Signa 1.5T | парцелляция толщины коры головного мозга |
| 6 | 2021 | R. M Brouwer и др. | 9-23 летние, N = 305 | Воксельная морфометрия (VBM) и поверхностная морфометрия (SBM) | Philips Achieva 3 T | общие и отдельные объемы ГМ, парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга |
| 7 | 2010 | N.Lange и др. | 4-18 летние, N = 285 | Воксельная морфометрия (VBM) | GE Signa 1.5T | общие и отдельные объемы ГМ |
| 8 | 1997 | N.Lange и др. | 4-20 летние, N= 115 | Воксельная морфометрия (VBM) | GE Signa 1.5T | общие и отдельные объемы ГМ |
| 9 | 2007 | M. Wilke и др. | 5-18 летние, N=200 | Воксельная морфометрия SPM99 MATLAB | Bruker Biospec 30/60 3T | общие и отдельные объемы ГМ |
| 10 | 2016 | S. Ducharme и др. | 4-22 летние, N = 954 | Поверхностная морфометрия (SBM), CIVET | GE Signa 1.5T | парцелляция толщины коры головного мозга |
| 11 | 2016 | K. L Mills и др. | 8-30 летние, N=391 | Поверхностная морфометрия, FreeSurfer | GE Signa 1.5T | общие и отдельные объемы ГМ |
| 12 | 2016 | N. Vijayakumar и др. | 11-20 летние, N=90 | Поверхностная морфометрия, FreeSurfer | GE Signa 3T | парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга |
| 13 | 2014 | L. M Wierenga и др. | 7-23 летние, N=135 | Поверхностная морфометрия, FreeSurfer | GE Signa 1.5T | парцелляция площади и толщины коры головного мозга |

Исследуя МРТ нормального развития мозга от 4 до 18 лет, исследователи отмечают, что общий объем головного мозга значительно больше у мужской популяции по сравнению с женской [6]. Harvey с соавторами (1990) установил, что взаимосвязь между размером мозга и размером тела у людей слабая [8]. Однако было установлено, что общий объем головного мозга (ОГМ) на 12% выше у мужчин, чем у женщин.

При этом раннее уменьшение объема коры головного мозга (КГМ) в сенсомоторной зоне и позднее в дорсолатеральной префронтальной коре не зависит от половых различий [9]. Также было установлено, что развитие ГМ происходит по одинаковой схеме как у представителей женского, так и мужского пола, однако, в среднем, с опережением у первых [10]. Lange (2011), исследуя МРТ нормального развития мозга от 4 до 18 лет, определил наличие небольшой систематической ассоциации объемов мозговой ткани с индексом массы тела (ИМТ), но не с IQ, семейным доходом или образованием родителей [6]. Также было установлено, что окружность головы является недостаточным показателем объема мозга у типично развивающихся детей и подростков [5]. Половые различия были более выражены в объеме коры и площади ее поверхности, чем в средней толщине [2]. По исследованиям Ducharme с соавторами (2016), единственным половым различием было более быстрое уменьшение толщины коры затылочных областей у мальчиков по сравнению с девочками. По их данным, среднее значение снижения средней толщины КГМ было 0,027 мм в год [3].

Изучая влияние возраста родителей на морфологическое состояние КГМ их детей, P. Shaw с соавторами (2011) выявил интересную динамику взаимосвязи возраста родителей с объемом КГМ детей. Так, у детей объем КГМ был выше с большим возрастом их родителей. Однако данная динамика касается родителей, возраст которых не превышает 30 лет. И наоборот, у детей, чьи родители были старше 30-ти лет, показатели объема снижались с повышением возраста их родителей. Интересно, что возраст отца больше влиял на площадь КГМ, в то время как возраст матери – на толщину КГМ. Возраст родителей не имел влияния на объем БВ у их детей [11].

Исследования влияния полушария, пола и возраста на вариабельность размеров участков ГМ у 115 здоровых детей и подростков в возрасте от 4 до 20 лет выявили различия в вариабельности структур: боковые желудочки демонстрировали самый высокий коэффициент вариации, а скорлупа – самый низкий. У мальчиков в левом полушарии и левой верхней височной извилине различия значительно выше, чем у девочек, тогда как в хвостатом теле и скорлупе правого полушария наблюдается противоположная тенденция – у девочек различий больше, чем у мальчиков. Возрастные эффекты проявлялись в повышенной вариабельности после полового созревания для боковых желудочков, гиппокампа и верхней височной извилины [7]. Согласно исследованиям, половые различия были обнаружены как для серого, так и для белого вещества. Анализ подтвердил значительные различия в морфологии мозга между мальчиками и девочками: наиболее выраженный объем миндалины у мальчиков, в то время как объем хвостатого тела был больше у девочек [12]. Mills и соавторы (2016) обнаружили доказательства продолжения изменений как внутричерепного объема, так и объема всего мозга в подростковом возрасте, хотя и по разным траекториям. Их результаты показывают, что объем КГМ находится на самом высоком уровне в детском возрасте, постепенно снижаясь в течение второго десятилетия с замедлением в третьем десятилетии, в то время как белое вещество интенсивно увеличивается до середины-конца подросткового возраста, прежде чем темп роста снижается. Они также отмечают, что учет размера черепа/мозга влияет

на модели регионального развития мозга, особенно в отношении половых различий [13]. По результатам лонгитюдного МРТ-исследования 90 здоровых подростков (11-20 лет), нелинейное увеличение площади поверхности наблюдалось на большей части КГМ. Половые различия в объеме и площади поверхности наблюдались с течением времени, однако различий в толщине выявлено не было. Кроме того, в нескольких областях наблюдались половые различия в развитии КГМ [14]. Эти результаты ясно демонстрируют различные паттерны развития в подростковом возрасте, особенно в областях, которые, как известно, способствуют развитию социального познания и поведенческой регуляции. Эти результаты свидетельствуют о том, что толщина и площадь поверхности могут определяться различными основополагающими механизмами, причем оба показателя потенциально предоставляет независимую информацию о развитии мозга.

Различные методы и подходы анализа структурной МРТ

Исследования, изучающие взаимосвязь между возрастом и структурным развитием мозга, проводятся с применением программного обеспечения для получения таких данных, как общие объемы и объемы структур ГМ, толщина, площадь и плотность КГМ. С начала 2000-х годов методы обработки изображений, такие, как воксельная морфометрия (VBM) и поверхностная (SBM), приобрели значительную популярность в нейронауке, поскольку они позволяют проводить полностью автоматизированный анализ крупномасштабных наборов данных структурной нейровизуализации. Морфометрия на основе вокселей (VBM) - это метод с использованием МРТ, который позволяет исследовать очаговые различия в анатомии мозга, используя статистический подход параметрического картирования. В этом методе объем всего мозга или его частей измеряется путем картирования областей интереса (ROI) на изображениях сканирования [1,9]. Однако этот метод является долгим и может обеспечить измерение только больших площадей. Методы поверхностной морфометрии человеческого мозга, как в ПО FreeSurfer, привлекают все больший интерес благодаря их точности и способности обнаруживать тонкие локальные изменения в анатомических формах мозга с высокой вычислительной скоростью. Поверхностные методы имеют широкое применение в области картирования человеческого мозга, включая сравнение трехмерных анатомических моделей разных субъектов, построение популяционных атласов мозга и обнаружение групповых паттернов в данных структурной МРТ [4,11].

В настоящее время изучение траектории развития головного мозга остается актуальным, особенно в Казахстане, так как в данной популяции еще не проводились исследования развития головного мозга с применением современных методов анализа. Выбирая методику для первичного анализа МРТ данных для исследования развития головного мозга у детей и подростков, мы остановились на поверхностной морфометрии (SBM).

FreeSurfer - это пакет с открытым исходным кодом для анализа и визуализации структурных, функциональных и диффузионных данных нейровизуализации.

Он разработан лабораторией вычислительной нейровизуализации в Центре биомедицинской визуализации имени А. А. Мартиноса (<https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>).

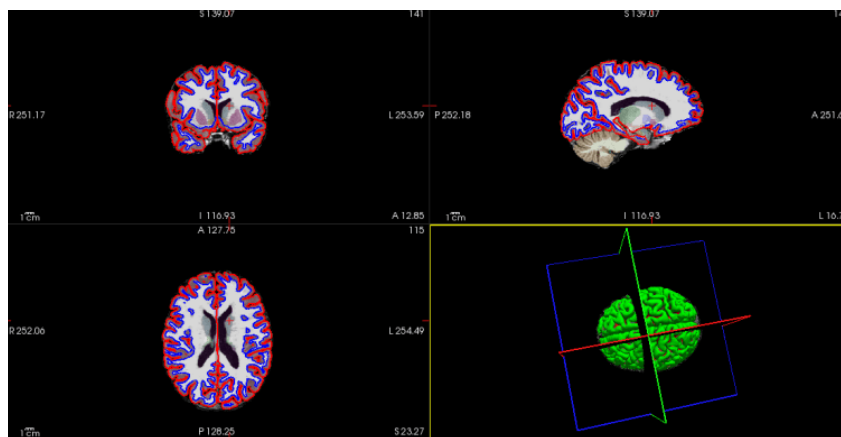


Рисунок 1. Результат сегментации одного из участников исследования, визуализация в ПО FreeSurfer 7.2.0.

Полный поток обработки данных МРТ-визуализации включает в себя удаление данных по костной структуре, коррекцию поля смещения, анатомическую сегментацию, а также реконструкцию кортикальной поверхности и парцелляцию [15].

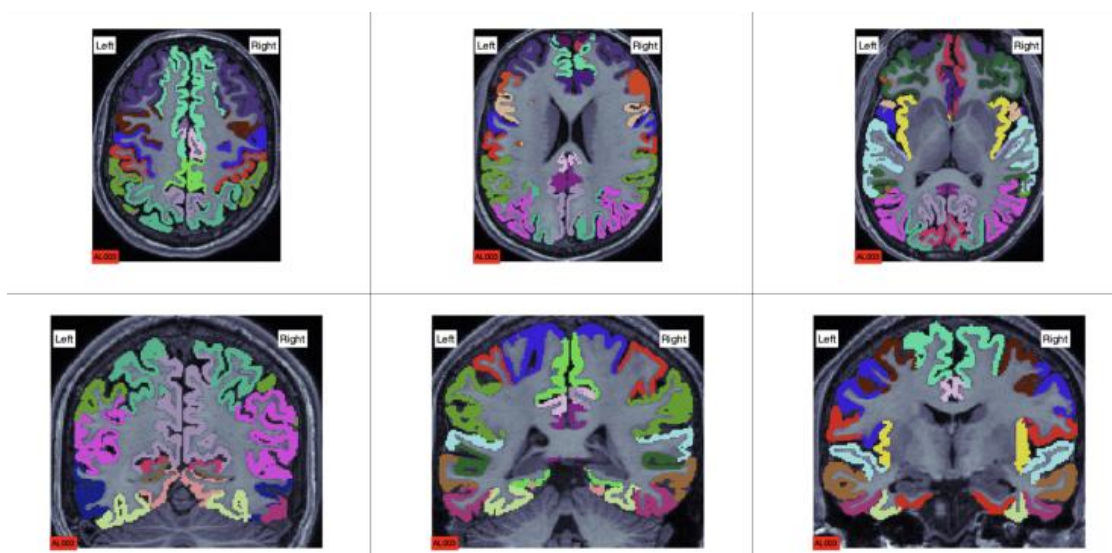


Рисунок 2. Результат парцелляции одного из участников исследования, визуализация в ПО FreeSurfer 7.2.0.

Бэтч FreeSurfer 7.2.0, применяемый нами для сегментации и парцелляции, дает следующие индивидуальные параметры: данные объемов общих и отдельных структур (рисунок 1), толщины и площади отдельных участков коры головного мозга (рисунок 2).

Обсуждение

В этом обзоре литературы были рассмотрены исследования нормального развития ГМ, направленные на изучение его траекторий развития. Было сделано несколько ключевых выводов. Во-первых, обнаружено линейное увеличение объема БВ и нелинейное изменение объема СВ КГМ, который увеличивается до и уменьшается после подросткового периода [1,6,7]. Уменьшение объема серого вещества происходит за счет его истончения. Увеличение объема белого вещества с возрастом почти равномерно, преобладая в пирамидальном тракте [6]. Во-вторых, в большинстве исследованиях упоминается, что объем ГМ значимо больше у мужской популяции при том, что взаимосвязь между размером мозга и размером тела у людей слабая. Однако установлено, что развитие ГМ происходит по одинаковой схеме как у представителей женского, так и мужского пола, в среднем, сопережением у первых [5,6,8,9,10]. Интересно, что возраст родителей имеет корреляцию с анатомическими показателями КГМ их детей. Чем старше родители, тем объем КГМ их детей больше. Однако, чьи родители были старше 30-ти лет, показатели объема КГМ детей отрицательно коррелировали с возрастом их родителей [11]. Также результаты исследования половых различий в траекториях развития ГМ указывают на то, что толщина и площадь поверхности КГМ могут определяться различными основополагающими механизмами, причем оба показателя потенциально предоставляют независимую информацию, демонстрируя различные паттерны развития ГМ в подростковом возрасте [12,13,14].

Изучение траекторий развития головного мозга требует выбора подходящей под цели исследования методики. Поверхностная морфометрия (SBM) является точной методикой первичного анализа МРТ данных с целью их квантификации.

Выводы

Таким образом, анализ литературы позволяет отметить, что наблюдается отрицательная корреляция возраста с толщиной КГМ. Траектории развития площади поверхности коры и толщины коры отличаются друг от друга, а сроки развития варьируются по всей коре. Паттерны развития толщины коры и площади поверхности отличались друг от друга и от траектории развития объема коры. Дальнейшее подтверждение этого вывода исходит из наблюдения, что некоторые области коры достигли максимальной площади поверхности позже, чем они достигли максимального объема. Это говорит о том, что кора головного мозга может все еще увеличиваться в площади в латеральном направлении в некоторых областях, даже после достижения максимального объема.

Следует отметить, что в среднем показатели общих и отдельных объемов ГМ, а также площадь коры головного мозга значимо выше у мальчиков, чем у девочек,

однако толщина КГМ не имеет статистически значимых половых различий. Анализ литературных источников показывает наличие открытых вопросов касательно развития ГМ. Применение ПО FreeSurfer в исследованиях развития ГМ даст нам возможность установить локальные изменения в анатомических данных мозга и восполнить пробелы, существующие в этой области.

Финансирование

Работа финансируется Министерством высшего образования и науки Республики Казахстан (грант AP08856595 Кустубаевой А.М.).

Вклад авторов

Кабенова О.Ю. – разработка концепции, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, Шугждейте Р. – разработка концепции, утверждение окончательного варианта статьи, Кустубаева А.М. – разработка концепции, проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Список литературы

1. Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study // *Nat Neurosci.* – 1999 – Vol. 2(10). – P.861-863.
2. Wierenga LM, Langen M, Oranje B, Durston S. Unique developmental trajectories of cortical thickness and surface area // *Neuroimage.* – 2014. – Vol. 87. – P. 120-126.
3. Ducharme S, Albaugh MD, Nguyen TV, et al. Trajectories of cortical thickness maturation in normal brain development-The importance of quality control procedures // *Neuroimage.* – 2016. – Vol.125. – P. 267-279.
4. Shaw P., Greenstein D., Lerch J., et al. Intellectual ability and cortical development in children and adolescents // *Nature.* – 2006. – Vol. 440(7084). – P. 676-679.
5. Lange N., Froimowitz M.P., Bigler E.D., Lainhart J.E. Brain Development Cooperative Group. Associations between IQ, total and regional brain volumes, and demography in a large normative sample of healthy children and adolescents // *Dev Neuropsychol.* – 2010 – Vol. 35(3). – P. 296-317.
6. Brain Development Cooperative Group. Total and regional brain volumes in a population-based normative sample from 4 to 18 years: the NIH MRI Study of Normal Brain Development // *Cereb Cortex.* – 2012. – Vol. 22(1). – P. 1-12.
7. Lange N., Giedd J.N., Castellanos F.X., Vaituzis A.C., Rapoport J.L. Variability of human brain structure size: ages 4-20 years // *Psychiatry Res.* – 1997. – Vol. 74(1). – P. 1-12.
8. Harvey P.H., Krebs J.R. Comparing brains // *Science.* – 1990 – Vol. 249(4965). – P. 140-146.
9. Giedd JN. Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain // *Ann N Y Acad Sci.* – 2004. – Vol. 1021. – P. 77-85.
10. Brouwer R.M., Schutte J., Janssen R., Boomsma D.I., Hulshoff Pol H.E., Schnack H.G. The Speed of Development of Adolescent Brain Age Depends on Sex and Is Genetically Determined // *Cereb Cortex.* – 2021 – Vol. 31(2). – P. 1296-1306.

11. Shaw P., Gilliam M., Malek M. Parental age effects on cortical morphology in offspring // *Cereb Cortex*. – 2012. – Vol. 22(6). P. 1256-1262.
12. Wilke M., Krägeloh-Mann I., Holland S.K. Global and local development of gray and white matter volume in normal children and adolescents // *Exp Brain Res*. – 2007. – Vol. 178(3). – P. 296-307.
13. Mills K.L., Goddings A.L., Herting M.M. Structural brain development between childhood and adulthood: Convergence across four longitudinal samples // *Neuroimage*. – 2016. – Vol. 141. – P. 273-281.
14. Vijayakumar N., Allen N.B., Youssef G. Brain development during adolescence: A mixed-longitudinal investigation of cortical thickness, surface area, and volume // *Hum Brain Mapp*. – 2016. – Vol. 37(6). – P. 2027-2038.
15. FreeSurfer software suite. [Электронный ресурс] – URL: <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/15> (дата обращения: 20.03.2023).

О.Ю. Кабенова¹, Р. Шугждейте², А.М. Кустубаева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Кэмбридж Университеті, Кэмбридж, Ұлыбритания

Мидың МРТ көрсеткіштерінің жас ерекшеліктеріне қатыстылығы және оларды сандық анықтау әдістері

Аңдатпа. Эмоциялық-когнитивті функциялармен байланысты мидың құрылымдық даму траекторияларының қалыптасуын түсіну мидың жетілу кезеңдерін анықтау және болжау үшін маңызды ғылыми міндет болып табылады. Бұл шолу құрылымдық магниттік-резонанстық томографияға негізделген балалар мен жасөспірімдер миының анатомиялық дамуы туралы зерттеулерді жүйелі түрде қарастырады. Әдеби деректер демографиялық мәліметтерге және әдістемелік тәсілдерге байланысты әр түрлі сипатқа ие. Дегенмен, ақ және сұр заттардың арақатынасының жасқа байланысты өзгеруі, жалпы ми қыртысының қалыңдығы мен ауданы және жеке құрылымдар сияқты кейбір заңдылықтар анықталды. Зерттеу нәтижелері ми жетілуінің гетерохронды процестерін де көрсетеді. Мысалы, ми қыртысының фронтальды аймағы желке аймағына қарағанда ұзағырақ жетілу траекториясына ие. Көптеген зерттеулер көлемдік көрсеткіштердің жоғары мәндерінде көрінетін жыныстық айырмашылықтарды анықтады. Екі жүзден астам параметрлердің мәнін анықтауға мүмкіндік беретін құрылымдық магниттік-резонанстық томографияны кванттаудың заманауи әдістері талданды. Гарвард университетінің А.А. Мартинос биомедициналық бейнелеу орталығындағы есептеу нейробейнелеу зертханасы әзірлеген FreeSurfer бағдарламалық құралын пайдалана отырып, үстіңгі морфометрияның артықшылықтары анықталды. 7 жастан 20 жасқа дейінгі балалардағы эмоциялық-когнитивті функцияларға қатысты беттік морфометрия көрсеткіштерінің жасқа байланысты өзгерістеріне одан әрі эксперименттік зерттеулер жүргізу қажеттілігі негізделді.

Түйін сөздер: мидың дамуы, ми морфологиясы, құрылымдық магниттік-резонанстық томография, үстіңгі морфометрия (SBM), жыныстық айырмашылықтар, жас айырмашылықтары, FreeSurfer.

O.Y. Kabenova¹, R. Siugzdaite², A.M. Kustubayeva¹

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

²*Cambridge University, Cambridge, UK*

Age-related features of structural MRI of the brain and methods for their quantification

Abstract. Understanding the formation of the trajectories of the brain structural development in relation to emotional and cognitive functions is an important scientific task for identifying and predicting the stages of brain maturation. This review systematically examines structural magnetic resonance imaging studies of the brain anatomical development in children and adolescents. The literature reveals inconsistency due to the difference in participants demographic groups and methodological approaches. Nevertheless, some patterns have been identified, such as age-related changes in the ratios of white and gray matter, thickness and area of the cerebral cortex both total and regional. The most observable results underline that the brain maturation is a heterochronous processes. For instance, the frontal region of the cerebral cortex has a longer maturation trajectory compared to the occipital region. Gender differences reflected in higher values of volume indicators have been identified in many studies. This article also describes the methods of quantification of structural magnetic resonance imaging, which allowed us to determine the value of more than two hundred parameters. There are some explanations of the advantage of the surface-based morphometry by using the FreeSurfer software, developed by the Computational Neuroimaging Laboratory at the A. A. Martinos Biomedical Imaging Center at Harvard University. The authors substantiate the necessity of further experimental studies of age-related changes in surface-based morphometry parameters in relation to emotional and cognitive functions in children from 7 to 20 years old.

Keywords: brain development, brain morphology, structural magnetic resonance imaging, surface based morphometry (SBM), sex differences, age differences, FreeSurfer.

Сведения об авторах:

Кабенова О.Ю. – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Шугзейте Р. – PhD, кандидат компьютерных наук, Университет Кембридж, Кембридж, Великобритания.

Кустубаева А.М. – профессор, кандидат биологических наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Kabenova O.Y. – 2nd year PhD student, Biology and Biotechnology Department, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.

Siugzdaite R. – PhD in Computer science, Research Associate, MRC Cognition & Brain Sciences Unit University of Cambridge, Cambridge, UK.

Kustubayeva A.M. – Professor, Candidate of Biological sciences, Biology and Biotechnology Department, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.35.33

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-114-129>

Каспий теңізінің суы мен топырағының уыттылық деңгейі

М.Н. Жолдыбай*¹ , Н.Ш. Джанаалиева² 

¹эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: zholdybaim@mail.ru

Аңдатпа. Қазіргі таңда еліміздің оңтүстік-батыс бөлігінде орналасқан Каспий теңізінің экологиялық жағдайы әртүрлі ластаушы факторларға, әсіресе мұнай өндіру саласының қарқынды дамуына байланысты үнемі бақылау мен тазартуды талап етеді. Қоршаған ортаға экологиялық тұрғыдан зиян келтірмейтін биотестілеу әдістерін қолдану арқылы теңіз суының ластану деңгейін бағалау жұмыстары кеңінен қолданылады. Каспий теңізінен бөлініп алынған зерттеу объектілерінің микробиологиялық құрамын анықтау жұмыстары жүргізілді. Су үлгілерінен бөлініп алынған объектілерде жалпы микроб саны $(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^2$ мен $(6,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$ аралығында болса, топырақ үлгілерінде $(9,7 \pm 0,3) \cdot 10^5$ мәніне дейінгі көрсеткіш анықталды. Бөлініп алынған дақылдарға морфологиялық талдау жасалды, нәтижесінде аэробты, қозғалғыштығы қалыпты кокктар, қысқа және ұзын таяқшалы бактериялар, сонымен қатар мицелий де байқалды. Зерттеу барысында биотестілеу әдісі биологиялық сынама-объектісінің – шаянтәрізділер өкілі *Daphnia magna* көмегімен жүзеге асты. Зерттеу барысында Морпорт-1 және Морпорт-2 топырақ үлгілерінде биотестілеу объектілеріне бірінші тәуліктен бастап 100% уытты екендігі анықталды (60:40 қатынасында). Биотестілеу нәтижесінде жүргізілген 4 нысанның ішінде уыттылық деңгейі 50%-дан асқан, сол себепті ластану дәрежесі жоғары болып саналатын Морпорт-1, Морпорт-2 үлгілері екендігі дәлелденді.

Түйін сөздер: морфологиялық-дақылдық қасиет, биотестілеу, уыттылық, сынама-объект, ластану деңгейі, *Daphnia magna*, экология.

Кіріспе

Каспий теңізі – Қазақстанның батыс бөлігінде орналасқан әлемдегі шаруашылық маңызы зор ең ірі тұйық су алабы. Теңізде көптеген мұнай-газ кен орындары игерілуде. Каспий теңізіндегі барланған мұнай ресурстары шамамен 10 миллиард тоннаны құрайды, мұнай мен газ конденсатының жалпы қоры 18-20 миллиард тоннаға бағаланады [1].

Каспий теңізіндегі әртүрлі экологиялық проблемалардың бірнеше себептері бар: теңіз маңында мұнай өндіру мен тасымалдау нәтижесінде судың ластануы; теңізге құятын өзендердегі ластаушы заттардың ағыны; өнеркәсіп орындарының және жағалаудағы қалалардың тіршілік әрекеті; Каспий теңізі деңгейінің көтерілуіне байланысты жекелеген нысандардың су басуы негізінде судың ластануы.

Қоршаған ортаның ластануының мониторингін ұйымдастыруға қатысты мәселелер соңғы уақытта ерекше өзектілікке ие болды. Бұл табиғи теңіз суының жай-күйін бақылауға, бағалауға және болжауға, сондай-ақ антропогендік әсер ету факторлары мен көздерін анықтауға негізделген бақылаулар жүйесі [2].

Қоршаған ортаның, атап айтқанда, табиғи су объектілерінің техногендік ластануының өсуі жағдайында олардың жағдайын бағалау көбінесе су сапасын бақылаудың сенімділігі мен тиімділігіне байланысты. Сонымен қатар, барлық белгіленген стандарттар бойынша суды толық физикалық-химиялық талдаудың өзі судағы ластаушы заттардың су айдынының экожүйесіне кешенді әсер ету нәтижелерін бағалауға мүмкіндік бермейді. Су объектілерінің химиялық ластануы бойынша қалыптасқан жағдайдың ауырлығына байланысты теңіз ортасының құрамының антропогендік бұзылуының биологиялық әсері мен салдарын кешенді түрде зерттеп қана қоймай, сонымен қатар су объектілерінің химиялық ластануы жағдайында ластануының алдын алу тәжірибесі токсикологиялық әдістерді кеңінен қолдану қажет [3].

Сұйықтықтың бұзылуына және зиянды заттар мен бактериялардың болуына байланысты кез келген проблемаларды болдырмау үшін оның химиялық және микробиологиялық құрамын білу маңызды.

Биологиялық талдау кезінде патогендік қасиеттері бар бактерияларды анықтау өте күрделі міндет екенін және кейбір жағдайларда мүмкін болмайтынын ескерсек, биологиялық ластанудың негізгі көрсеткіштерінің бірі 1 миллилитр судағы бактериялардың саны болуы мүмкін.

Микробтардың жалпы саны (ЖМС) су сапасының көрсеткіші болып табылады, ол бактериологиялық ластану дәрежесін сипаттайтын микробтардың жалпы санын көрсетеді [4].

Теңіз қайраңындағы көмірсутектерді іздеу, барлау және өндірумен байланысты жұмыстар биологиялық қауымдастықтардың түр құрамына, трофикалық құрылымына, су түбінде және су бағанында тұратын гидробионттардың санына әсер етуі мүмкін. Су ортасында улы ластаушы заттардың болуына байланысты судың уыттылығын бағалау үшін биотестілеу қолданады. Оның басты артықшылығы – қоршаған орта параметрлерінің фондық деңгейден шамалы ауытқуларына

жауап ретінде тірі тіршілік иелерінің жай күйінің бастапқы өзгерістерін анықтауға мүмкіндік беретін жоғары сезімталдық, сонымен қатар экожүйелер мен олардың жеке ерекшеліктерін тікелей бағалау мүмкіндігі.

Экологиялық аспектіні ескеретін қорғау шараларының міндеттеріне жауап беретін тиімді шаралардың қатарында судың улылығын бағалау үшін сезімтал сынаушы организмдерді пайдалана отырып биотестілеу әдістерін қолдану жатады [5-7].

Биотестілеу (биоталдау) деп әдетте қандай заттар мен комбинацияда сынақ объектілерінің тіршілік әрекетінің өзгеруіне әкелетініне қарамастан қауіптілік туралы дабыл беретін сынақ объектілерін пайдалана отырып, қоршаған ортаның уыттылығын анықтау тәртібі түсініледі.

Бұл әдіс судағы ластаушы заттардың ауқымын анықтауға мүмкіндік бермейді (егер олар алдын ала белгілі болмаса), бірақ ластану фактісін жылдам анықтауға болады. Дегенмен, әртүрлі сынақ объектілерін пайдалана отырып, ластаушы заттардың құрамы туралы ақпаратты білуге болады [8].

Сынақ объектілері, Л.П. Брагинскийдің анықтамасы бойынша, қоршаған ортаның уыттылығы туралы дабылды ақпараттың «датчигі» және су ортасының уыттылығы фактісін, онда нақты бір анықталған аналитикалық заттың болуына немесе болмауына қарамастан, жылдам анықтауға мүмкіндік беретін күрделі химиялық талдауларды алмастырғыштар. Белгілі жуықтау дәрежесі бар сынақ объектілері су ортасының – ағынды сулардың, қалдықтардың, айналымдағы және табиғи сулардың ластануының уыттылық деңгейіне сандық баға береді [9].

Судың сапасын бағалаудың биологиялық әдістері үшін су қоймалары мен су ағындарында тіршілік ететін гидробионттардың барлық дерлік түрлері (бактериялар, балдырлар, зоопланктондар, зообентостар, балықтар) қолданылады. Суды биотестілеу үшін балық екінші дәрежелі маңызға ие, ал су организмдерінің басқа топтарында жетекші индикаторлық формалар ерекшеленеді. Ең танымал объектілері – планктонды фильтрмен қоректенетін шаянтәрізділедің *Daphnia magna* және *Ceriodaphnia affinis* формалары.

Олардың артықшылықтарына байланысты ерте барлау жұмыстарында теңіз суларының биотестілігі экологиялық мониторинг бағдарламасына енгізілген.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу объектілері ретінде Каспий теңізіндегі Қошқар ата және Морпорт аймақтарынан алынған 4 сынаманың топырақ және су үлгілері қолданылды:

1. Морпорт-1 (еңділік: 43.701289, бойлық: 51.204368)
2. Морпорт-2 (еңділік: 43.723446, бойлық: 51.180234)
3. Қошқар ата-1 (еңділік: 42.685308, бойлық: 50.210521)
4. Қошқар ата-2 (еңділік: 42.609726, бойлық: 50.190003)

Алдымен Каспий теңізіндегі арнайы экономикалық аймақтардан алынған су сынамалары әртүрлі қоректік орталарда өсіріліп, жалпы микробтық саны анықталды. Қоректік орта ретінде Ет пептонды агар (ЕПА), *Pseudomonas Isolation Agar*,

Actinomycete Isolation Agar, Sabouraud Dextrose Agar қолданылды. Зерттеу барысында HIMEDIA компаниясының дайын қоректік орталары пайдаланылды.

Жұмыста микроорганизмдерді өсірудің дәстүрлі микробиологиялық тығыз ортаға себудің беттік әдісі қолданылды. Микроорганизмдердің жалпы санын анықтау әдісі (Кох әдісінің модификациясы), микробиологиялық препараттарды дайындау. Бөлініп алынған микроорганизмдер штамдарының тазалығын жалпы қабылданған әдістері бойынша 3-4 сегменттік штрихтап егу әдісімен бақыланды [10].

Микроағзалардың морфологиясы Микмедово-1 бинокулярлық микроскоптың және "Motic BA 300" көмегімен зертханалық практикада жалпы қабылданған әдістемелер бойынша зерттелді, препараттар жалпы қабылданған светлопольной микроскопия әдістемесі бойынша дайындалды [11].

Бөліп алынған микроорганизмдердің морфология – дақылдық қасиеттері: макро, микроморфология, спора түзу, қозғалғыштығы, Грам бойынша боялуы сипатталды [12].

Судың уыттылығын бағалау параметрлерін есептеу 96 сағаттық экспозицияда жүргізіледі. Теңіз суларын сынау кезінде бақылау тиісті тұздылығы бар теңіз суы болды. Материал жалпы қабылданған ГОСТ әдістеріне сәйкес таңдалды және өңделді.

Орталық Каспий учаскесінде теңіз суын биотестілеу үшін стандартты сынақ объектісі – *Daphnia magna* шаянтәрізділер түрі пайдаланылды.

Биотестілеуді жүргізу әдісі:

Топырақ сығындысын дайындау үшін топырақ үлгісін $20 \pm 5^\circ\text{C}$ температурада 1 тәулік бойы құрғақ күйге дейін кептіреді, кепкен топырақты ұсақтайды және диаметрі 1 мм тесігі бар електен өткізеді. Содан кейін топырақтың қажетті мөлшері өлшенеді және 1:1 қатынасында сумен толтырылады.

100 см³ шыны ыдыстарға зерттелетін су немесе топырақ сығындысы және бақылау нұсқасы құйылады. Зерттеу жұмысына сәйкес бірінші тәжірибеге 90% дистилденген су, екіншісіне 60% дистилденген су қосып қатынасы келтіріледі. Үлгілерге 10 дафния диаметрі 5-7 мм болатын шыны түтікпен тез суға салынады;

Зерттелетін уақыт аралығында (96 сағат) тірі дафниялар мөлшерін санайды. Суда еркін қозғалса немесе сынамань сәл шайқағанда 15 с-тан кешікпей жүзетін болса тірі деп, қалған дафниялар өлі деп саналады. Алынған нәтижелер кестеге енгізіліп, «өлген дафниялардың %-уақыт» тәуелділік графигін жасайды.

Егер бақылаудың барлық кезеңінде бақылау нұсқасына дафнияның жойылуы 10%-дан аспаса, биотестілеу нәтижелері дұрыс деп есептеледі. Салыстырмалы судағы өлі дафнияны есептеу формула бойынша жүргізіледі:

$$A = (X_k - X_m) 100 / X_k \%;$$

Мұндағы X_m - бақылау үлгісінде тірі қалған дафниялар санының арифметикалық ортасы; X_k - сыналған судағы өмір сүрген дафнияның орташа арифметикалық саны болып табылады [13-14].

Топырақ сығындысы:

Су үлгілерінің уыттылығын бағалау

| Жалпы | | Таңдалып алынған үлгідегі өлімнің өзгеруі және бақылау үлгісіне қатысы, % |
|--------------------------|------------------|---|
| Уыттылығы жоқ | Уыттылығы жоқ | 25 дейін |
| Өткір уыттылық әсері жоқ | Уыттылығы төмен | 25-35 дейін |
| | Уыттылығы орташа | 35-50 дейін |
| Өткір уыттылық әсері бар | Уыттылығы жоғары | 50-100 дейін |

Зерттеу нәтижелері

Теңіз суларында биологиялық әдістерінің тиімділігін анықтайтын фактор микроорганизмдердің тіршілік әрекеті болып табылады.

Алдымен Каспий теңізінен бөлініп алынған зерттеу объектілерінің микробиологиялық құрамын анықтау жұмыстары жүргізілді.

Каспий теңізінің жалпы микроорганизмдерінің саны, КТБ/мл

| № | Зерттеу объектілері | | Жалпы микроорганизмдердің саны, КТБ/мл |
|---|---------------------|---------|--|
| 1 | Морпорт-1 | Су | $(6,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$ |
| 2 | | топырақ | $(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^5$ |
| 3 | Морпорт-2 | Су | $(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^2$ |
| 4 | | топырақ | $(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^5$ |
| 5 | Қошқар ата-1 | Су | $(2,8 \pm 0,1) \cdot 10^2$ |
| 6 | | Топырақ | $(8,5 \pm 0,3) \cdot 10^5$ |
| 7 | Қошқар ата-2 | Су | $(2,8 \pm 0,1) \cdot 10^2$ |
| 8 | | топырақ | $(9,7 \pm 0,3) \cdot 10^5$ |

Каспий суынан бөлініп алынған микроорганизмдер теңіз суының экстремалды жағдайларына бейімделген микроорганизмдер ретінде үлкен биотехнологиялық потенциалға ие. Судағы әр түрлі физиологиялық топтардың аэробты және анаэробты микроорганизмдері кең таралғаны белгілі. Олардың кейбіреуі тіршілік қабілетін жоғалтып қана қоймай, сондай-ақ теңіз жағдайында белсенді өмір сүруге қабілетті болып қалады.

Бөлініп алынған микроорганизм дақылдарының морфологиялық – дақылдық белгілері зерттелді (кесте 3).

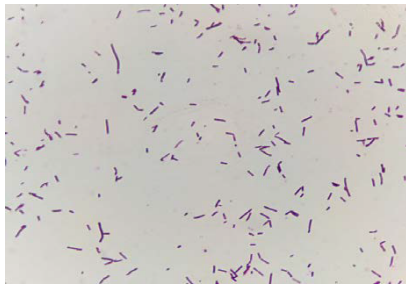
Каспий теңізінің микроорганизмдерінің морфологиялық және дақылдық қасиеттері

| | Зерттеу объектілері | Микроорганизмдер | Өсіру жағдайы, оттегіге қатынасы t 30°C | Клетка формасы және байланысуы | Грам бойынша боялуы | Спора түзу | Қозғалғыштық | Колония морфологиясы |
|---|----------------------|------------------|--|--------------------------------|---------------------|------------|--------------|---|
| 1 | Морпорг-1 (су) | A1 | Аэробты | Қысқа таяқшалы | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жылтыр, жиегі тегіс, ақ түсті, 2-3 мм |
| 2 | | A2 | Аэробты | Қысқа таяқшалылар, моно, дипло | Г+ | + | + | Дұрыс емес колония, жиегі дұрыс емес, ақ түсті, ішкі шырышты, беті дөңес, 10 мм |
| 3 | Морпорг-2 (су) | A3 | Аэробты | Кокктар | Г- | - | + | Жылтыр колония, жиегі кедір-бұдырлы, беті тегіс, ақ түсті, 3-4 мм |
| 4 | | A4 | Аэробты | Мицелийлі | | + | + | Ризоидты, бұталы, жасыл-ақшыл түсті, 20 мм |
| 5 | Қошқар аға-1 (су) | A5 | Аэробты | Диплококктар | Г- | - | + | Дөңгелек колония, жылтыр, жиегі тегіс, ақшыл түсті, беті тегіс, 3-4 мм |
| 6 | | A6 | Аэробты | Диплококктар | Г- | - | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, сары реңді ақ түсті, беті дөңес, 3-4 мм |
| 7 | | A7 | Аэробты | Монобактериялар | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті тегіс, ақ түсті, 6 мм |

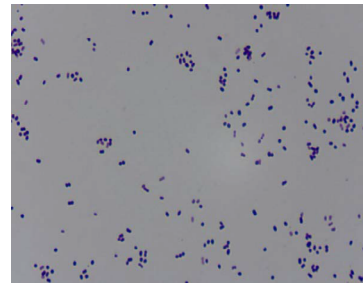
| | | | | | | | | |
|---|------------------------|----|---------|-------------------------------|----|---|---|---|
| 8 | Қошқар аға-2 (су) | А8 | Аэробты | Монотаяқшалылар | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті тегіс, ақ түсті, жылтыр, 10 мм |
| 9 | | А9 | Аэробты | Монотаяқшалылар | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті тегіс, жылтыр, мөлдір, 1 мм |
| 0 | Қошқар аға-1 (топырақ) | Б1 | аэробты | Қысқатаяқшалылар, моно, дипло | Г+ | + | + | Ризоидты, жиегі дұрыс емес, бұталы, беті дөңес, ақшыл түсті, тамырлы, 20 мм |
| 1 | | Б2 | Аэробты | Қысқатаяқшалылар, моно | Г+ | + | + | Ризоидты, жіпшелі, жиегі дұрыс емес, беті дөңес, ақ түсті, 7-8 мм |
| 2 | | Б3 | Аэробты | Монотаяқшалылар | Г+ | + | + | Дөңгелек қырлы шетті колония, беті конус тәріздес, ақшыл түсті, 5-6 мм |
| 3 | | Б4 | Аэробты | Монотаяқшалылар | Г+ | + | + | Ризоидты колония, жиегі дұрыс емес, беті тегіс, қоңыр реңді, 3-4 мм |
| 6 | | Б7 | Аэробты | Ұзын таяқшалылар, моно, дипло | Г+ | + | + | Ризоидты, жіпшелі, жиегі дұрыс емес, беті дөңес, 7-8 мм |
| 7 | Қошқар аға-2 | Б8 | Аэробты | Кокктар | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті дөңес, қара-ақшыл реңді, 3 мм |

| | | | | | | | | |
|----|---------------------|-----|---------|-------------------------|----|---|---|---|
| 8 | Морпорт-1 | Б9 | Аэробты | Қысқа таяқшалылар, моно | Г+ | - | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті тегіс, сары-ақшыл түсті, жылтыр, 3 мм |
| 19 | Морпорт-2 (топырақ) | Б10 | Аэробты | Монодиплотаяқшалылар | Г+ | + | + | Дөңгелек колония, жиегі тегіс, беті тегіс, сары түсті, жылтыр, 1 мм |
| 20 | | Б11 | Аэробты | Ұзын таяқшалылар, моно | Г+ | - | + | Ризоидты, жіпшелі, жиегі дұрыс емес, беті дөңес, 5 мм |

Микроморфологиялық зерттеулерге сәйкес микроорганизм дақылдарының жасушалық құрылымы Грам бойынша жіктелінді (сурет 1).



А) Б7



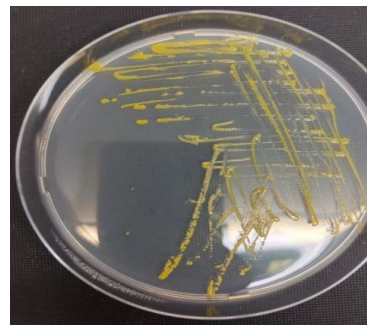
Ә) Б8

Сурет 1. Каспий теңіз сулары бактерияларының микроморфологиясы, 1000x

Жұмыс барысында бактериялар қатты қоректік ортада 24-48 сағат аралығында өсу ерекшеліктері қарастырылды, түзілген колониялардың макроморфологиясы салыстырылды (кесте 3)



А) Б5



Ә) Б10

Сурет 2. Қатты ортадағы микроорганизмдер колониясының макроморфологиясы

Зерттеу объектілерінің микробиологиялық құрамы анықталғаннан кейін үлгілердің мұнай қалдықтарымен немесе басқа да химиялық заттармен ластанғанын, қоршаған ортаға деген уыттылық дәрежесін анықтау биотестілеу көмегімен жүзеге асырылды. Зерттеу объектілері екі түрлі жағдайда талданып, салыстырылды. Бірінші тәжірибеде әдіс 90:10 қатынасында жүргізілді. 90% дистилденген суға 10% проба суы қосылған зерттеу объектісі биоталданды. Екінші тәжірибе 60:40 қатынасында. 96 сағат ішінде сынама-объектілердің өмір сүру деңгейі қарастырылды.

Кесте 4

Биотестілеудің нәтижесі 90:10 қатынасында

| № | Зерттеу объектілері | | Зерттеу уақытындағы дафниялар санының арифметикалық ортасы | | | 96 сағатта тіршілігін жойған дафниялар үлесі, % | Уыттылық деңгейі |
|---|---------------------|---------|--|----------|----------|---|------------------|
| | | | 24 сағат | 48 сағат | 96 сағат | | |
| 1 | Морпорт-1 | Су | 10 | 8 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| | | Топырақ | 9 | 8 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| 2 | | Су | 9 | 8 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| | | Топырақ | 8 | 7 | 6 | 40 | Уыттылығы орташа |
| 3 | Қошқар ата-1 | Су | 10 | 9 | 8 | 20 | Уыттылығы жоқ |
| | | Топырақ | 10 | 10 | 8 | 20 | Уыттылығы жоқ |
| 4 | Қошқар ата-2 | Су | 10 | 9 | 8 | 20 | Уыттылығы жоқ |
| | | | 10 | 10 | 9 | 10 | Уыттылығы жоқ |
| | Бақылау | Су | 10 | 10 | 10 | | |
| | | Топырақ | 10 | 10 | 10 | | |

Биотестілеудің нәтижесі 60:40 қатынасында

| № | Зерттеу объектілері | | Зерттеу уақытындағы дафниялар санының арифметикалық ортасы | | | 96 сағатта тіршілігін жойған дафниялар үлесі, % | Уыттылық деңгейі |
|---|---------------------|---------|--|----------|----------|---|------------------|
| | | | 24 сағат | 48 сағат | 96 сағат | | |
| 1 | Морпорт-1 | Су | 7 | 7 | 6 | 40 | Уыттылығы орташа |
| | | Топырақ | 0 | 0 | 0 | 100 | Уыттылығы жоғары |
| 2 | | Су | 7 | 6 | 5 | 50 | Уыттылығы жоғары |
| | | Топырақ | 0 | 0 | 0 | 100 | Уыттылығы жоғары |
| 3 | Қошқар ата-1 | Су | 9 | 9 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| | | Топырақ | 7 | 7 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| 4 | Қошқар ата-2 | Су | 9 | 9 | 7 | 30 | Уыттылығы төмен |
| | | | 10 | 9 | 8 | 20 | Уыттылығы жоқ |
| | Бақылау | Су | 10 | 10 | 10 | | |
| | | Топырақ | 10 | 10 | 10 | | |

Зерттеу нәтижелерін талқылау

Зерттеу объектілерінің жалпы микробтық саны анықталды (кесте 2). 1мл-дегі микроб саны Қошқар ата-2 зерттеу объектісінде жоғарғы көрсеткішке ие болды, ал ең төмен мән Морпорт-2-де.

Жұмыс барысында Морпорт-1 үлгісінен 3 микроорганизм дақыл, Морпорт-2 үлгісінен 4 дақыл, Қошқар ата-1-ден 6 және Қошқар ата-2-ден 5 бөлініп алынды.

Бөлініп алынған микроорганизм дақылдарының морфологиялық – дақылдық белгілері зерттелді (кесте 3).

Бактериялардың морфологиялық қасиеттеріне тек пішіні ғана емес, сонымен қатар колониялар мөлшері, жасушалардың кеңістікте орналасуы, споралар мен капсулалардың болуы, бактериялардың Грам бойынша боялуының типі мен қозғалғыштығы жатады.

Зерттеу нәтижесінде микроорганизмдер кокктар немесе таяқшалар болып келеді. Барлық анықталған штаммдар аэробты болды.

Макроморфологиялық зерттеулерге сәйкес қатты қоректік ортада микроорганизм дақылдарында А1, А3, А6, Б9, Б10, Б11 дөңгелек пішінді колония, жиектері тегіс, жоғарғы беті жазық және дөңес болса, қалған үлгілер пішіні ризоидты және жиектері тегіс емес пішінде. Жалпы түзілген колониялардың диаметрлері 2-5мм аралығында болды. Қошқар ата (А5, А6, А7, А8, Б1, Б2, Б3, Б4) колониялары ақшыл-қоңыр, ақшыл түсті көрсетсе, Морпорттан (Б9, Б10) бөлініп алынған микроорганизмдер дақыл сарғыш түске ие болды (сурет 2).

Сонымен, микроорганизмдердің морфологиялық қасиеттерін зерттеу арқылы А3, А5, А6 дақылдары Грам теріс, қалған бактериялар Грам оң екендігі, Б1, Б2, Б3, Б4, Б4, Б6, Б7, Б9, Б10, Б11, топырақ үлгілері таяқша, А3, А5, А6 су үлгілері мен Б8 топырақ үлгісі кокка екендігі анықталды. А4 су пробасынан бөлініп алынған дақылдан мицелий байқалды.

Зерттеу объектілерінің микробиологиялық құрамы анықталғаннан кейін уыттылық дәрежесін анықтау биотестілеу көмегімен жүзеге асырылды.

Биотестілеу нәтижелері алғашқы 24 сағатта зерттелген су мен топырақ үлгілерінде дафния санының бастапқы мәннен ауытқу дәрежесі 0-20% аралығында болды. Осы уақыт аралығында Морпорт-2 (топырақ) нұсқасында бұл ауытқу 20%-ды көрсетті. Тәжірибеден 48 сағат өткеннен кейін пробалардың бақылаудан 10-20% ауытқуы байқалды.

Соңғы тәулікте өлген шаянтәрізділедің үлесі 10-40% көрсеткішіне дейін ұлғайды. Ең жоғарғы мән Морпорт-2 зерттеу объектісінде анықталды (40%).

Нәтижесінде, Қошқар ата-1, Қошқар ата-2 зерттеу объектілерінде 90:10 қатынасы бойынша уыттылығы жоқ болып, ал Морпорт-1 мен Морпорт-2 (су) орындарында уыттылық деңгейі төмен деп есептелінді.

Негізінен Каспий өңірінде орналасқан арнайы орындардан бөлініп алынған зерттеу объектілерінің су және топырақ үлгілері бірдей мәнді көрсетті: Морпорт-2 үлгісінің зерттелген топырағы суына қарағанда уыттылығы жоғары болды, ал Қошқар ата-2-де топырақ үлгісі төмен мәнге ие болды.

Қорытынды

Қошқар ата және Морпорт экологиялық аймақтарынан бөлініп алынған үлгілердің жалпы микробтық саны есептеліп: Қошқар ата-2 ((9,7±0,3)*105); Морпорт-2 ((1,9±0,1)*105), теңіз суларынан бөлініп алынған микроб дақылдарының морфологиялық және дақылдық қасиеттері анықталды.

Биотестілеу нәтижесінде Каспий теңізінен алынған су үлгілері 90:10 қатынасы бойынша Морпорт-1, Морпорт-2 (су) нұсқаларының уыттылық дәрежесі 30%-ды көрсетті. Ең уыттылығы жоғары үлгі Морпорт-2 (топырақ) болды (40%). Ал Қошқар ата-2-де бұл көрсеткіш 10%-ға тең болды.

Зерттеу барысында 60:40 қатынасындағы объектілерде 96 сағатта уыттылық дәрежесі төмен Қошқар ата-1, Қошқара ата-2 (су) болды, бұларда тіршілігін жойған дафниялар үлесі 30%-ды құрады. Уыттылығы орташа объект – Морпорт-1 су үлгісі (40%). Ең жоғарғы мән 100% Морпорт-1 және Морпорт-2 топырақ үлгілерінде анықталды және бұл көрсеткіш бастапқы тәуліктен бастап бақыланды.

Сынақ объектілерінің 30%-дан 100%-ға дейін өлуі анықталған жағдайда, бұл үлгілерді уыттылығы бойынша зиянсыз деп санауға болмайтынын көрсете отырып, зерттелетін үлгіде уыттылық әсері бар деген қорытынды шығаруға болады.

Зерттеу жұмысында 60% дистилденген су және 40% үлгі суы алынған тәжірибе нұсқасында бастапқы тәулікте сынама-объектісі болған *Daphnia magna* организмдерінің жойылу белгілері байқалды. Морпорт-1 және Морпорт-2 зерттеу объектілерінің топырақ үлгілерінде бастапқы кезден бастап сынама-объектілері жойылып кетті, яғни уыттылық деңгейі 100%-ды көрсетті. Қалған сынамаларда 48 сағаттан кейін дафниялардың өлу көрсеткіші 24 сағатта көрсетілген мәннен 10-20%-ға ауытқыды. Зерттеу уақытындағы дафниялар санының арифметикалық ортасы 96 сағатта 0-8 аралығында болды. Осы уақытта өлген дафниялардың үлесі Морпорт-1 нұсқасында 40%(су) және Морпорт-2 50%-ды (су) көрсетті. Ең аз пайыздық мөлшер 20% Қошқар ата-2 сынамасында анықталды.

Зерттеу объектілерінің 90:10 және 60:40 қатынастарында зерттеу нәтижелерін салыстыра келе үлгілердің мөлшері өскен сайын сынаманың уыттылығы да ұлғаятынын байқауға болады. Нәтижесінде биотестілеу жүргізілген 8 нысанның ішінде уыттылық деңгейі 50%-дан асқан, сол себепті ластану дәрежесі жоғары болып саналатын Морпорт-1, Морпорт-2 үлгілері екендігі дәлелденді.

Қаржыландыру

Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант № AP19175679).

Авторлардың қосқан үлесі

Жолдыбай М.Н.

1. Жұмыстың концепциясына елеулі үлес қосты, жинақтады, жұмыс нәтижелерін түсіндірді;
2. Мәтінді жазып, мазмұнын сыни тұрғыдан қарады;

Джаналиева Н.Ш.

1. Мақаланың соңғы нұсқасын жариялауға бекітті;
2. Жұмыстың барлық аспектілеріне жауапты болды;
3. Деректердің сенімділігіне байланысты мәселелерді зерттеу және шешу немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығын бақылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Магрицкий Д.В. Каспийское море // Статья из научно-популярной энциклопедии «Вода России». – 2019. – № 1. – С. 4.
2. Гурбанпур Ш.Б. Экологические проблемы Каспийского моря // Молодой ученый. – 2010. – № 5(16). – Т. 1. – С. 128-131.
3. Гаврилов В.П. Экологические проблемы Каспийского моря. Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. –2011. – № 4. – С. 37-45.
4. Общее микробное число (ОМЧ). [Электронды ресурц] – URL: <https://nortest.pro/stati/voda/obshhee-mikrobnoe-chislo-omch.html> (жүгінген күні: 04.03.2024).
5. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Estimates of Oil Entering the Marine Environment from Sea-Based Activities (Reports and Studies, 75, 2007) at 47. [Электронды ресурц] – URL: <http://www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs75> (жүгінген күні: 04.03.2024).
6. Картамышева Е.С., Иванченко Д.С. Последствия добычи нефти и газа на Каспийском море // Молодой ученый. – 2017. – № 25 (159). – С. 113-117.
7. National Commission on the Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, Deep Water. The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling (Report to the President January 2014) at 218. Paper available from the U.S Government Printing Ose. [Электронды ресурц] – URL: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg//content-detail.html> (жүгінген күні: 04.03.2024).
8. Мелехова О.П. , Сарапульцева Е.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – Москва: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
9. Олькова А.С., Фокина А.И. *Daphnia magna* straus в биотестировании природных и техногенных сред. – 2015. – № 0042-1324. – С. 260.
10. Егоров Н.С. Практикум по микробиологии. – Москва: Изд-во Московского университета, 1976. – 307 с.
11. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. Практикум по микробиологии. – Москва: Академия, 2005. – 608 с.
12. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи: В 2 т. – Москва: Мир, 1997. – 305 с.
13. Хоружая Т.А., Мартышева Н.А., Юрасова Е.Б. Методы оценки токсического влияния фитоценозов планктона на формирование качества поверхностных вод суши. – 2014. – № 52.24.809. – С. 12.
14. Ляшенко О.А., Кустикова М.А., Конопелько Л.А., Быковская Е.А., Тимофеева И.В., Василевская А.В., Маюрова А.С. Экология биологической системы в оценке состояния окружающей среды. – Санкт-Петербург, Изд-во Университета ИТМО, 2019. – 31 с.

М.Н. Жолдыбай¹, Н.Ш. Джаналиева²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

Уровень токсичности воды и почвы Каспийского моря

Аннотация. В настоящее время экологическое состояние Каспийского моря, расположенного в юго-западной части страны, требует постоянного мониторинга и очистки из-за различных загрязняющих факторов, особенно бурного развития нефтедобывающей отрасли. Широко применяется оценка уровня загрязнения морской воды методами биотестирования, не наносящими вреда окружающей среде с экологической точки зрения. Проведено определение микробиологического состава объектов исследования, выделенных из Каспийского моря. В объектах, выделенных из проб воды, общее количество микробов колеблется от $(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^2$ до $(6,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$, тогда как в пробах почвы определялся показатель до $(9,7 \pm 0,3) \cdot 10^5$. Выделенные культуры проанализировали морфологически, в результате были обнаружены аэробные, нормальные подвижные кокки, коротко- и длиннопалочковые бактерии, а также мицелий. В ходе исследования был реализован метод биотестирования с использованием биологического объекта-образца – представителя ракообразных *Daphnia magna*. В ходе исследования установлено, что образцы почвы Морпорт-1 и Морпорт-2 были на 100% токсичны для объектов биотестирования с первых суток (в соотношении 60:40). В результате биотестирования у образцов Морпорт-1 и Морпорт-2, считающихся сильнозагрязненными, выявлен уровень токсичности более 50%.

Ключевые слова: морфолого-культурный признак, биотестирование, токсичность, объект-образец, уровень загрязнения, *Daphnia magna*, экология.

M.N. Zholdybai¹, N.Sh. Dzhanaliev²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

Toxicity level of water and soil of the Caspian Sea

Abstract. Currently, the ecological state of the Caspian Sea, located in the southwestern part of the country, requires constant monitoring and cleaning due to various polluting factors, especially the rapid development of the oil industry. Assessing the level of seawater pollution using biotesting methods that do not harm the environment from an ecological point of view is widely used. The microbiological composition of research objects isolated from the Caspian Sea was determined. In objects isolated from water samples, the total number of microbes ranges from $(1.9 \pm 0.1) \cdot 10^2$ to $(6.2 \pm 0.2) \cdot 10^2$, while in soil samples the figure was determined to be up to $(9.7 \pm 0.3) \cdot 10^5$. The isolated cultures were analyzed morphologically, as a result, aerobic, normal motile cocci, short- and long-rod bacteria, as well as mycelium were discovered. During the study, a biotesting method was implemented using a biological sample object - a representative of the crustacean *Daphnia magna*.

During the study, it was established that soil samples from Morport-1 and Morport-2 were 100% toxic to the biotest objects from the first day (in a ratio of 60:40). As a result of biotesting, the Morport-1 and Morport-2 samples, considered highly contaminated, revealed a toxicity level of more than 50%.

Keywords: morphological and cultural trait, biotesting, toxicity, sample object, level of pollution, *Daphnia magna*, ecology.

References

1. Magrickij D.V. Kaspijskoe more, Stat'ya iz nauchno-populyarnoj enciklopedii «Voda Rossii» [Caspian Sea, Article from the popular science encyclopedia "Water of Russia"], 1, 4 (2019). [in Russian]
2. Gurbanpur SH.B. Ekologicheskie problemy Kaspijskogo morya, Molodoj uchenyj [Environmental problems of the Caspian Sea, Young scientist], 5(16), 1, 128-131 (2010). [in Russian]
3. Gavrilov V.P. Ekologicheskie problemy Kaspijskogo morya. Trudy Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Environmental problems of the Caspian Sea. Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after. THEM. Gubkina], 4, 37-45 (2011). [in Russian]
4. Obshchee mikrobnoe chislo (OMCH) [Total microbial count (TMC)]. [Electronic resource] – Available at: <https://nortest.pro/stati/voda/obshhee-mikrobnoe-chislo-omch.html> (accessed: 04.03.2024). [in Russian]
5. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Estimates of Oil Entering the Marine Environment from Sea-Based Activities (Reports and Studies, 75, 2007) at 47. [Electronic resource] – Available at: <http://www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs75> (accessed: 04.03.2024). [in Russian]
6. Картамышева Е.С., Иванченко Д.С. Последствия добычи нефти и газа на Каспийском море // Молодой ученый. – 2017. – № 25 (159). – С. 113-117. [in Russian]
7. National Commission on the Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, Deep Water. The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling (Report to the President January 2014) at 218. Paper available from the U.S Government Printing Oce. [Electronic resource] – Available at: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg//content-detail.html> (accessed: 04.03.2024).
8. Melekhova O.P., Sarapul'ceva E.I. Biologicheskij kontrol' okruzhayushchej sredy: bioindikaciya i biotestirovanie [Biological environmental control: bioindication and biotesting] (Moskva, Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010, 288 s.) [Moscow, Publishing Center "Academy", 2010, 288 p.]. [in Russian]
9. Ol'kova A.S., Fokina A.I. *Daphnia magna* straus v biotestirovanii prirodnyh i tekhnogennyh sred [Daphnia magna straus in biotesting of natural and technogenic environments], 0042-1324, 260 (2015). [in Russian]
10. Egorov N.S. Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology] (Moskva, Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1976, 307 s.) [Moscow, Moscow University Publishing House, 1976, 307 p.]. [in Russian]
11. Netrusov A.I., Egorova M.A., Zaharchuk L.M. Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology] (Moskva: Akademiya, 2005, 608 s.) [Moscow, Academy, 2005, 608 p.]. [in Russian]
12. Hoult Dzh. Opredelitel' bakterij Berdzhii: V 2 t. [Identifier of Burgee's bacteria: In 2 vols.] (Moskva, Mir, 1997, 305 s.) [Moscow, Mir, 1997, 305 p.]. [in Russian]

13. Horuzhaya T.A., Martysheva N.A., YUrasova E.B. Metody ocenki toksicheskogo vliyaniya fitocenozov planktona na formirovanie kachestva poverhnostnyh vod sushi [Methods for assessing the toxic impact of plankton phytocenoses on the formation of the quality of land surface waters], 52.24.809, 12 (2014). [in Russian]

14. Lyashenko O.A., Kustikova M.A., Konopel'ko L.A., Bykovskaya E.A., Timofeeva I.V., Vasilevskaya A.V., Mayurova A.S. Ekologiya biologicheskie sistemy v ocenke sostoyaniya okruzhayushchej sredy [Ecology, biological systems in environmental assessment] (Sankt-Peterburg, Izd-vo Universiteta ITMO, 2019, 31 s.) [St. Petersburg, ITMO University Publishing House, 2019, 31 p.]. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Жолдыбай М.Н. – биология және биотехнология кафедрасының, биотехнология мамандығының 2 курс магистранты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетін, әл-Фараби даңғылы 71, Алматы, Қазақстан.

Джаналиева Н.Ш. – аға оқытушы, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, 32 шағынауданы, Ақтау, Қазақстан.

Zholdybay M.N. – 2nd year master's degree student, department of biology and biotechnology, specialty "Biotechnology", Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.

Dzhanalieva N.Sh. – Senior lecturer of the Caspian University, Sh. Yesenova Technology and Engineering, subdistrict 32, Aktau, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.33.19

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-130-148>

Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның ағаш жартылай қаттықанаттыларының (Hemiptera, Heteroptera) биологиясы мен экологиясы

Х.Ғ. Қорғанбек¹ , П.А. Есенбекова*² 

¹А.Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан

²ҚР ҒЖОМ ҒК «Зоология институты» РМК, Алматы, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: esenbekova_periz@mail.ru

Аңдатпа. Оңтүстік-Шығыс Қазақстан ағаш жартылай қаттықанаттыларын зерттеу нәтижесінде 8 тұқымдасқа жататын 35 түр анықталды. Бұлардың ішінде түр құрамы жағынан басым Miridae тұқымдасы (9 түр), Pentatomidae тұқымдасы (8 түр), Anthosoridae тұқымдасы (7 түр), қалған 5 тұқымдастан 1-3 түрден белгілі болды. Ағаш жартылай қаттықанаттылары тіршілік ету ортасына қарай дендробионт (22 түр), дендро-тамнобионт (2 түр), дендро-тамно-хортобионт (4 түр), дендро-хортобионт (6 түр) болып бөлінеді. Ағаш жартылай қаттықанаттылары қоректік байланысы жағынан зоофагтар (14 түр), зоофитофагтар (6 түр), фитофагтар (12 түр) және мицетофагтар (3 түр) болып бөлінеді. Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның ағаш жартылай қаттықанаттылары жыл сайын беретін ұрпақ санына қарай 4 топқа бөлінеді: моновольтинді (27 түр), бивольтинді (1 түр), поливольтинді (4 түр), ациклді (3 түр). Зерттеу аймағындағы түрлер экологиялық жағынан мезофилді түрлер. Жартылай қаттықанаттылар көптеген түрлерде қыстау кезеңі ересек дарасы сатысында (20 түр), жұмыртқа сатысында (10 түр), ересек дарасы және дернәсіл сатысында (4 түр), дернәсілдері сатысында (1 түр) өтеді.

Түйін сөздер: Оңтүстік-Шығыс Қазақстан, ағаш жартылай қаттықанаттылары, Heteroptera.

Кіріспе

Жартылай қаттықанаттылар шала түрленіп дамитын насекомдар отряды. Бұлар құрлық және су насекомдары. Бұлардың басты белгісі – ауыз аппараты тесіп-сорғыш типті. Тұмсығы басының алдыңғы бөлігіне орналасқан. Бұл жәндіктердің тіршілік салты өте алуан түрлі, олар өсімдікқоректілер (өсімдіктің әртүрлі бөліктерінің шырындарын сорады), сүтқоректілер мен құстардың паразиттері, микофагтар (саңырауқұлақтармен қоректенеді), жыртқыштар (ұсақ омыртқасыздармен қоректенеді), өрмекшілер мен эмбилердің торларында, сондай-ақ суда және оның бетінде тіршілік етеді; су аршындардың кейбір түрлері тіпті ашық мұхитта да кездеседі (Randall T. Schuh & James A. Slater, 1995).

Жартылай қаттықанаттылар немесе қандалалардың 104 мыңнан астам түрі бар (Robert G. Foottit, Peter H. Adler, 2009). 2013 жылдың тамызына қарай ғалымдар 104165 түрді сипаттады, оның ішінде 1982 қазба түрі (Zhang, 2013).

Топ мүшелерінің дене пішіні тіршілік салты мен қоршаған ортаға байланысты әртүрлі болады (Insect Biodiversity: Science and Society, 2017). Биологиялық тұрғыдан бұл топ өте алуан түрлі. Онда су асты, су үсті және жер үсті өкілдері кездеседі. Олардың арасында ашық тіршілік ететіндер де, жасырын тіршілік ететіндер де бар, яғни тастардың астында, қабықтың астында, топырақта және т.б. (Определитель насекомых Дальнего Востока СССР, 1988) өсімдікқоректілердің түрлері бойынша көп, бірақ жыртқыштар табиғатта жиі кездеседі. Су астындағы жыртқыштар - ең епті, сонымен қатар су астында тіршілік ететін ең көп таралған насекомдар (Catalogue of the Palearctic Heteroptera 2023).

Матералдар мен зерттеу әдістері

2023 жылы зерттеу жұмыстары Оңтүстік-Шығыс Қазақстанда Іле Алатауы, Күнгей Алатау, Жетісу Алатауында, Алматы облысының Қарасай, Еңбекшіқазақ, Балқаш, Кеген аудандарында, Іле-Алатау Мемлекеттік ұлттық табиғи паркі (МҰТП), Алтынемел МҰТП, Шарын МҰТП, Алматы қаласы мен маңайлас аумақтарда жүргізілді.

Материалды жинау кезінде стандартты энтомологиялық әдістер қолданылды - бұталардан және ағаш бұтақтарынан қандалалар энтомологиялық сүзгімен және ағаштар астына ақ матаны төсеп, ағаштарды сілкі арқылы жиналды; ағаш қабығының астында және әртүрлі қуыстарға жасырынып тіршілік ететін түрлер экстаустермен немесе пинцетпен ұсталды (Кириченко, 1957; Голуб және т.б., 2012).

Бұл жұмыстың мақсаты – Оңтүстік-Шығыс Қазақстан жартылай қаттықанаттылар фаунасын, олардың биологиясын, экологиялық және зоогеографиялық таралуын анықтау.

Талқылау

Ұсақ жыртқыштар тұқымдасы – Anthocoridae

Asotrocoris pilipes Stys, 1960. Іле Алатауы, Үлкен Алматы өзені, теңіз деңгейінен 1900 м биіктікте, 17.06.2023, 3♀, 1♂; Күнгей Алатау, Кеген ауданы, Саты ауылы маңы, 27.07.2023, 2♀, 4♂; Жетісу Алатауы, Шолақ тауы, Ұзынбұлақ шатқалы, 23.07.2023,

1♀, 2♂. Дендробионт (қылқын жапырақты ағаштарда); мезофил (орман аймағында, көбінесе тауларда 2000 м биіктікке дейін); зоофаг (ұсақ жәндіктер және кенелермен); моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Элов, 1976).

Anthocoris minki pistaciae Wagner, 1957. Іле Алатауы, Ақсай шатқалы, 20.06.2023, 2♀, 2♂. Дендробионт (терек *Populus* және т.б.); мезофил; зоофаг (өсімдік биттері, жапырақ бүргелері); моновольтинді; ересек даралары қыстайды. Орта Азияда *Populus diversifolia*-да *Psyllidae* беріштерінен, *Forda sp.* өсімдік биттері беріштерінен, сонымен қатар *Fraxinus*, *Zygophyllum* и *Amygdalis bucharica* табылды (Malenovský, 2011).

Anthocoris pilosus (Jakovlev, 1877). Жетісу Алатауы, Қояндытау тау етегінде, 16.06.2023, 4♀, 3♂; Алматы қаласы, ботаника бағында, 20.06.2023, 1♀, 1♂; Іле Алатауы тау етегінде ағаштарда, бұталарда және шөптесін өсімдіктерде көп кездеседі, Алатау ауылы маңы, 16.06.2023, 9♀, 12♂. Дендро-хортобионт (жапырақты ағаштарда: *Populus*, *Salix*, жеміс ағаштарында), мезофил; зоофаг (өсімдік биттерімен, жапырақ бүргелері дернәсілдерімен, *Miridae*, трипстер, көбелектер жұмыртқалары және жұлдызқұрттарымен қоректенеді), бұл ағаш және бұталардағы өсімдік биттері түрлерінің негізгі жауларының бірі; жылына 4-5 ұрпақ береді, поливольтинді; ересек даралары қыстайды. Бұл түр Алматы жеміс шаруашылығы аймағында алма өсімдік биттерінің санын азайтуда ең тиімді түр болып табылады (Фолкина, 1974).

Elatophilus stigmatellus (Zetterstedt, 1838). Іле Алатауы, Медеу шатқалы, 18.06.2023, 3♀, 4♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.07.2023, 2♀, 1♂. Дендробионт (сағызқарағайда *Larix*); мезофил (орманды аймақ); зоофаг (ұсақ насекомдар, олардың дернәсілдері мен жұмыртқалары); моновольтинді; ересек даралары қыстайды. Қарағай қабығы астында тіршілік етеді (Кириченко, 1951).

Tetrphleps aterrima (J.Sahlberg, 1878). Іле Алатауы, Медеу шатқалы, 12.07.2005, 2♀, 2♂. Дендробионт (аралас ормандарда және шыршалы ормандарда ол балқарағай, сағызқарағай, қайың және қарағайда тіршілік етеді); мезофил (тауларда 2700-2900 м биіктікке дейін); зоофаг (ұсақ жәндіктер, олардың дернәсілдері және жұмыртқалары); моновольтинді; ересек даралары қыстайды. Әдебиетте шыршада кездескені туралы айтылады (Pericart, 1972).

Orius horvathi (Reuter, 1884). Алматы облысы, Қарасай ауданы, Қаскелең өзені аңғары, 15.06.2023, 2♀, 1♂; Жандосов елді мекені маңы, 15.06.2023, 1♀, 3♂; Алтынемел МҰТП, Шыған кордоны, Іле өзені аңғары, 15.06.2023, 2♀, 3♂. Дендро-хортобионт (ағаштар мен шөптесін өсімдіктерде: *Medicago*, *Trofolium* және т.б.); мезофил (шөлдерден биік тауларға дейін, өзендердің жайылмаларында); зоофаг (өсімдік биттері, трипстер, көбелектердің ұсақ жұлдызқұрттары, кенелер және олардың жұмыртқалары, зиянды тасбақашық қандалалардың, астық қандалаларының жұмыртқаларымен қоректенеді); жылына 2-3 рет ұрпақ береді; ересек даралары қыстайды. Өсімдік биті (*Aphis pomi*), темекі трипсі және кенелермен қоректенеді (Элов, 1976).

Orius minutus (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Қарасай ауданы, Қаскелең өзені аңғары, 15.06.2023, 2♀, 3♂; Каменка елді мекені маңы, 15.06.2023, 1♀, 3♂; Алтынемел МҰТП, Іле өзені аңғары, 15.06.2023, 2♀, 3♂; Қызылтаң орманшылығы, Іле өзені аңғары, 11.06-26.2023, 5♀, 6♂; Қапшағайдан 119 км төменде Іле өзені аңғары, 26.06.2023, 1♀, 1♂. Дендро-тамно-хортобионт (ағаштар, бұталар және шөптесін өсімдіктерде:

тал, тобылғы, қайың, жапырақтары мен гүлдерінде); мезофил; көпқоректі зоофаг (әртүрлі насекомдар, кенелер және түрлі зиянды омыртқасыздар жұмыртқаларымен қоректенеді); жылына 3-4 рет ұрпақ береді; ересек даралары қыстайды (Элов, 1976).

Жыртқыштар тұқымдасы – *Reduviidae*

Rhynocoris annulatus (Linnaeus, 1758). Іле Алатауы, Медеу шатқалы, 18.06.2023, 1♀, 2♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.07.2023, 1♀, 1♂; Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы маңы, Шелек өзені аңғары, 24.05.2023, 2♀, 3♂; Балқаш ауданы, Миялы ауылы маңы, Іле өзені аңғары, 10.06.2023, 1♀, 2♂; 13.07.2023, 2♀, 1♂. Дендрохортобионт (ағаштарда: қарағай, шырша, арша, қайың, орманжаңғақ, қандыағаш, емен, көктерек; түрлі бұталар мен шөптесін өсімдіктерде: шатыргүлділер, бұршақ тұқымдастар, күрделігүлділер); мезофил (ормандар, орманды аймақтар, жағалау ормандары); көпқоректі зоофаг (жапырақ жегіш қоңыздар, аралар, көбелек жұлдызқұрттары және т.б.); моновольтинді; IV-V даму сатысындағы дернәсілдері қыстайды. Дернәсілдердің қыстауы далалық бақылаулармен дәлелденген (Gredler, 1870; Priesner, 1928; Singer, 1952).

Rhynocoris iracundus (Rudoj, 2022). Іле Алатауы, Қарағайлы шатқалы, 18.06.2023, 1♀, 2♂; Алматы облысы, Балқаш ауданы, Миялы ауылы маңы, Іле өзені аңғары, 28.07.2023, 2♀, 2♂; Қапшағайдан 40 км төменде Іле өзені аңғары, 29.07.2023, 2♀, 2♂; Қызылтаң орманшылығы, Іле өзені аңғары, 23.06.2023, 1♀, 3♂. Дендрохортобионт; мезофил (әр түрлі табиғи аймақтарда: далалы аңғарлар, тау бөктері мен аласа таулардың ыстық, орманды беткейлерінен биік таулы орман алқаптары мен субальпілік шалғындарға дейін 2000 м-ге дейін, жазықтарда, ағаштарда, бұталарда және шөптесін өсімдіктерде); зоофаг (биік гүлді өсімдіктерде жемтігін күтіп, әртүрлі жәндіктерді: жапырақ жегіш қоңыздарды, араларды, көбелек жұлдызқұрттарын аулауға дайын және т.б. болады); жылына бір рет ұрпақ береді; жоғарғы даму сатысындағы дернәсілдері қыстайды (Пучков, 1987). Дернәсілдері мен ересек даралары қыстайды (Асанова, Исаков, 1977).

Жай көзшесіздер тұқымдасы – *Miridae*

Deraeocoris annulipes (Konstantinov, 2008). Іле Алатауы, Үлкен Алматы өзені аңғары, 12.07.2023, 2♀, 1♂. Дендробионт (қарағай және т.б.); мезофил; зоофитофаг; моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды.

Lygocoris rugicollis (Fallen, 1807). Алматы қаласы, ботаника бағы, 21.07.2023, 1♀, 2♂; Жетісу Алатауы, Қояндытау тауы, Ұзынбұлақ, Түлкілі және Қайыңды шатқалдары, 28-30.07.2023, 3♀, 6♂. Дендротамнохортобионт, мезофил; полифитофаг (ағаштар: тал, қайың, қандыағаш); бұталар, шөптесін өсімдіктер), бивольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Кержнер, 1972).

Blepharidopterus angulatus (Fallen, 1807). Алматы облысы, Қарасай ауданы, Каменка елді мекені маңы, 15.06.2023, 2♀, 2♂; Алтынемел МҰТП, Жантоғай кордоны, Іле өзені аңғары, 26.06.2023, 1♀, 2♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 14.06.2023, 2♀, 1♂. Дендробионт (жапырақты ағаштарда: *Alnus*, *Betula*, *Salix*, *Corylus* және жемісті ағаштарда); мезофил (алқаптағы аралас ормандарда және орманның жоғарғы шекарасына жақын тау бұлағы ағынында); зоофитофаг (өсімдік биттерімен қоректенеді); моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Rider David A., 2018).

Cyllecoridea decorata (Kiritshenko, 1931). Алматы облысы, Балқаш ауданы, Миялы ауылы маңы, Іле өзені аңғары, 15.06.2023, 3♀, 2♂; Қарасай ауданы, Қаскелең өзені аңғары, 18.06.2023, 3♀, 1♂; Каменка елді мекені маңы, 19.06.2001, 3♀, 4♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 14.06.2023, 3♀, 3♂; 22.07.2023, 2♀, 1♂. Дендробионт (алма, алмұрт, қайың, қарағаш); мезофил; зоофитофаг; моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Пучков, 1973).

Orthotylus bilineatus (Fallen, 1807). Алматы қаласы, ботаника бағы, 23.06.2023, 1♀, 2♂; 11.06.2023, 3♀, 2♂; Іле Алатауы, Карғалы шатқалы, 28-30.07.2023, 4♀, 5♂. Дендробионт (на *Salix*, *Populus*); мезофил; зоофитофаг; моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Пучков, 1971).

Orthotylus nassatus (Fabricius, 1787). Іле Алатауы, Қарағайлы шатқалы. 30.07.2023, 2♀, 1♂; Қапшағайдан 40 км төмен Іле өзені аңғары, 21.06.2023, 2♀, 3♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 23.06.2023, 3♀, 1♂; 19.07.2023, 2♀, 2♂. Дендробионт (жапырақты және жеміс ағаштарында: *Salix*, *Tilia*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Alnus*); мезофил (өзен аңғарларында); полифитофаг; моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды.

Pilophorus confusus (Kirschbaum, 1856). Іле Алатауы, Қарағайлы шатқалы. 30.07.2023, 1♀, 1♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 23.06.2023, 1♀, 2♂, 19.07.2023, 2♀, 2♂. Дендробионт (жапырақты және жеміс ағаштарында); мезофил; зоофаг; моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Josifov, 1989).

Atractotomus mali (Meyer-Dur, 1843). Алматы қаласы, ботаника бағы, 09.07.2023, 1♀, 3♂; Баум тоғайы, 25.07.2023, 1♀, 2♂; Іле Алатауы, Ақсай шатқалы, 25.07.2023, 3♀, 2♂. Дендробионт (раушангүлді ағаштар және бұталармен байланысты: алма, алмұрт, долана, итмұрын, шомырт); мезофил; зоофитофаг (өсімдік биттері, жапырақ бүргелері, көбелек жұмыртқаларын, алма көбелегі жұлдызқұрттарымен және т.б. ұсақ омыртқасыздармен қоректенеді); моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды.

Camptylomma verbasci (Meyer-Dur, 1843). Алматы облысы, Қарасай ауданы, Қаскелең өзені аңғары, 15.06.2023, 2♀, 2♂; Каменка елді мекені маңы, 17.06.2023, 3♀, 2♂; Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы, Шелек өзені аңғары, 03.06.2023, 1♀, 1♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.07.2023, 3♀, 2♂; Іле Алатауы, Кіші Алматы шатқалы, 25.07.2023, 5♀, 2♂. Дендро-хортобионт; мезофил (төмен тау шалғындары, теңіз деңгейінен 700-1200 м); зоофитофаг (түрлі жапырақты, сонымен қатар жеміс ағаштарында – алма, алмұрт, жиде; шөптесін өсімдіктерде: *Verbascum*, *Carduus*, ұсақ насекомдармен, кенелермен және олардың жұмыртқаларымен қоректенеді); поливольтинді; жұмыртқалары қыстайды.

Қабықасты қандалалар тұқымдасы – Aradidae

Aneurys avenius avenius (Dufour, 1833). Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.06.2023, 2♀, 3♂; Алматы облысы, Кіші Алматы өзені аңғары, 25.06.2023, 3♀, 2♂. Дендробионт (діндектер мен ағаштардың көтерілген қабығының астында және жапырақты ағаштар жарықтарында, бұтақтар мен жіңішке діндердегі қабықтың жарықтарында); мезофил; тар тағамдық мамандануы жоқ; мүмкін флоэма шырынымен қоректенеді, *Coriolus* саңырауқұлақтарының шырынымен қоректенуі жайлы нұсқау бар (Пучков, 1974); ациклді; барлық даму сатысындағы дернәсілдері мен ересек даралары қыстайды.

Aradus flavicornis Dalman, 1823. Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.06.2023, 3♀, 4♂; Баум тоғайы, 26.07.2023, 1♀, 2♂; Іле Алатауы, Кіші Алматы шатқалы, 25.07.2023, 1♀, 1♂. Дендробионт (жапырақты ағаштарда); мезофил, мицетофаг, саңырауқұлақ шырынымен қоректенеді; ациклді; барлық даму сатысындағы дернәсілдері мен ересек даралары қыстайды (Кириченко, 1913).

Aradus lugubris Fallen, 1807. Іле Алатауы, Үлкен Алматы көлі, қылқан жапырақты ағаш қабығының астында, 29.06.2023, 2♀, 1♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, Орта Азия экспозициясы, 27.06.2023, 3♀, 6♂. Дендробионт (тауда қылқан жапырақты ағаштар саңырауқұлақтарында); мезофил, мицетофаг, саңырауқұлақ шырынымен қоректенеді (Кержнер, Ячевский, 1964); ациклді; барлық даму сатысындағы дернәсілдері мен ересек даралары қыстайды (Mammedova, 2021).

Жер қандалалар тұқымдасы – *Lygaeidae*

Artheneis intricata V.G. Putshkov, 1969. Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы, Шелек өзені аңғары, 21-24.05.2023, 4♀, 6♂; Алтынемел МҰТП, Ұзынбұлақ кордоны, Қонақбайсай шатқалы, 12.06.2023, 15♀, 12♂; Қапшағайдан 40 км төменде Іле өзені аңғары, 10.07.2023, 10♀, 12♂; түнгі жарыққа ұсталды. Дендробионт (*Tamarix*, *Myricaria*, *Salix alba*, гүл шоғырларында); мезофил; кең олигофитофаг (тұқымдарымен қоректенеді); моновольтинді (Пучков, 1969); ересек даралары қыстайды.

Holcocranum saturejae (Kolenati, 1845). Алтынемел МҰТП, Мыңбұлақ кордоны, 08.07.2023, 3♀, 4♂; Жантоғай кордоны, Іле өзені аңғары, 10.07.2023, 3♀, 2♂; Іле-Алатау МҰТП, Қырғауылды ауылы маңы. 11.07.2023, 3♀, 2♂. Дендробионт (талда); мезофил (жағалау тоғайлары); тар олигофитофаг; моновольтинді; ересек даралары қыстайды.

Кенереуілдер тұқымдасы – *Coreidae*

Gonocerus juniperi Herrich-Schaffer, 1839. Алматы қаласы, ботаника бағы, 14.07.2023, 1♀, 2♂; Іле Алатауы, Медеу шатқалы, 24.07.2006, 2♀, 3♂. Дендробионт (*Juniperus*, *Cupressus*, *Pinus*, *Picea*, *Guercus* және т.б.); мезо-ксерофил; кең олигофитофаг (негізінен аршада және басқа да қылқан жапырақты ағаштарда); моновольтинді; ересек даралары ағаш қабығының астында және орман жабынында қыстайды (Нейморовец, 2003).

Ағаш қалқаншалылары тұқымдасы - *Acanthosomatidae*

Acanthosoma forcipatum Reuter, 1881. Іле-Алатау МҰТП, Қарағайлы шатқалы, 24.06.2023, 2♀, 3♂; Ақсай шатқалы, 25.07.2023. 1♀, 2♂; Жетісу Алатауы, Қызылауыз шатқалы, 10.07.2023, 2♀, 3♂. Дендро-тамнобионт (тауларда әртүрлі ағаштар мен бұталарда, әсіресе жеміс беретін ағаштарда кездеседі); мезофил; полифитофаг; моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Пучков, 1965; Кержнер, 1964).

Elasmucha dorsalis (Jakovlev, 1876). Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.07.2023, 3♀, 2♂; 31.07.2023, 1♀, 2♂; Іле-Алатау МҰТП, Қарағайлы шатқалы, 24.06.2023, 2♀, 2♂; Ақсай шатқалы, 25.07.2023. 2♀, 1♂. Дендро-тамнобионт (әртүрлі ағаштар мен бұталарда); мезофил (орманда); полифитофаг; моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Кержнер, 1972).

Elasmucha grisea grisea (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Байсейіт ауылы маңы, 19.06.2023, 2♀, 2♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 12.07.2023, 1♀, 2♂; Жетісу Алатауы, Қояндытау тауы, Қайыңды шатқалы. 30.07.2023, 3♀, 2♂.

Дендробионт (қайың өсетін барлық жерде кездеседі); мезофил (орманда); кең олигофитофаг (*Betula*, *Alnus*); моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Пучков, 1967; Кержнер, 1972).

Нағыз қалқаншалылар тұқымдасы - *Pentatomidae*

Jalla dumosa (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы маңы, Шелек өзені аңғары, 24.06.2023, 1♀, 1♂; Қапшағайдан 40 км төменде Іле өзені аңғары, 8-14.07.2023, 5♀, 7♂; Балқаш ауданы, Миялы ауылы маңы, Іле өзенінің орта ағысы, 08.07.2023, 3♀, 2♂; Іле Алатауы, Ақсай шатқалы, 16.07.2023, 3♀, 2♂. Дендрохортобионт (түрлі ағаштар мен шөптесін өсімдіктерде); мезофил (орманды дала аймағы, субальпілік шалғындар шегіндегі тауларда, сирек ормандардың мезофиттік учаскелерімен, орман шалғындарымен экологиялық жағынан байланысты); зоофаг (әртүрлі ұсақ буынаяқтылармен қоректенеді); моновольтинді; ересек даралары қыстайды. Әдебиетте (Пучков, 1961) сонымен қатар қандалалар мен дернәсілдері жұпаргүл (*Oryganum*), жалбыз (*Mentha*) сияқты хош иісті өсімдіктердің шырындарымен қоректенетіні атап өтілген.

Picromerus bidens (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Қарасай ауданы, Жандосов елді мекені маңы, 17.06.2023, 3♀, 2♂; Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы маңы, Шелек өзені аңғары, 24.06.2023, 1♀, 3♂; Алтынемел МҰТП, Шыған кордоны, 07.07.2023, 1♀, 1♂. Дендробионт (орман аймағы, орманды дала, таулы-орман белдеуі, кей жерлерде далаға, кең жапырақты, аралас және қылқан жапырақты ормандарға енеді, тауларға орманның жоғарғы шекарасына дейін көтеріледі); мезофил (орман шалғындары, шалғындар, өзен аңғарларының ағаш-бұта өсімдіктері, қайың-көктерек шоғырлары, кейде кен орындары мен егістіктерде); зоофаг (әртүрлі кішкентай буынаяқтылармен қоректенеді, кейде өсімдік шырынымен де қоректенеді); моновольтинді; жұмыртқалары қыстайды (Кержнер, 1964; Гидаят, 1982).

Rhacognatus punctatus (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Масақ ауылы маңы, Шелек өзені аңғары, 22.06.2023, 1♀, 1♂; Қарасай ауданы, Жандосов елді мекені маңы, 17.06.2023, 1♀, 2♂; Іле Алатауы, Қарғалы шатқалы, 10.07.2023, 4♀, 2♂; Ақсай шатқалы, 14.07.2023, 3♀, 2♂. Дендробионт (орман аймағы, орманды дала, таулы-орман белдеуі, аралас ормандарда, **Salix**, **Betula**, көктерек, таңқурай, қалақай және т. б. өсімдіктерде); мезофил (ылғалданған орман шалғындары, ағаш-бұта өсімдіктері бар өзен аңғарларында); зоофаг (түрлі ұсақ буынаяқтылармен қоректенеді); моновольтинді; ересек даралары қыстайды. Жаңа буынның ересек даралары тамыздың ортасында пайда болады (Иосифов, 1981).

Zicrona caerulea (Linnaeus, 1758). Алматы облысы, Іле-Алатау МҰТП, Шамалған шатқалы, 10.07.2023, 3♀, 2♂; Алма-Арасан шатқалы, 21.07.2023, 2♀, 1♂; Қарағайлы шатқалы, 20.07.2023, 1♀, 2♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 14-20.07.2023, 3♀, 4♂. Дендро-тамно-хортобионт; мезофил (далада, ормандарда, ағаш екпелерінде және олардың жанында, көбінесе шөптесіндерде, шалғындарда *Polygonum* sp. және т.б., 800-2600 м дейінгі тауларда, субальпілік шалғындарда); зоофаг (әртүрлі ұсақ буынаяқтылармен қоректенеді, жапырақ жейтін қоңыздардың *Haltica* spp. дернәсілдерін жояды); моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Пучкова, 1961). Алматы облысы Қызыл кітабына енгізілген.

Chlorochroa pinicola (Mulsant & Rey, 1852). Іле Алатауы, Медеу шатқалы, 17.06.2023, 2♀, 3♂; Алматы қаласы маңы, Көктөбе шатқалы, 23.06.2023, 1♂; Алматы қаласы, ботаника

бағы, 15.07.2023, 2♀, 1♂. Дендробионт (қылқан жапырақты ағаштарда: арша, шырша, көбіне қарағайда); мезофил (орман аймағы, орманды дала, тау-орман белдеуі); тар олигофитофаг (*Pinus* туысы түрлері); моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Thomas, 1983).

Apodiphus integriceps Horvath, 1888. Алматы қаласы маңы, 30.06.2023, 4♀, 7♂, алмада, шиеде; Жетісу Алатауы, Шолақ шатқалы, 25.07.2023, 7♀, 8♂; Шарын МҰТП, Темірлік өзені аңғары, 24.07.2023, 5♀, 4♂. Дендробионт (теректерде, алма ағаштарында, сондай-ақ талдарда, қарағаштарда, шынарларда және басқа да ағаштарда, ең алдымен елді мекендерде); мезофил; полифитофаг; моновольтинді; ересек даралары үйлерде және басқа да құрылыстарда қыстайды. Тұт пен жидеге зиян келтіреді (Асанова, 1969; Гидаятов, 1982).

Rhapigaster brevispina Horvath, 1889. Алматы қаласы, ботаника бағы, 12-14.07.2023, 5♀, 3♂; 29.07.2023, 5♀, 4♂; Алтынемел МҰТП, Шыған кордоны, 23.07.2023, 1♀, 2♂; Шолақ кордоны, 25.07.2023, 10♀, 9♂; Жантоғай кордоны, Іле өзені аңғары, 26.07.2023, 1♀, 2♂. Дендробионт (талда, жидеде, қарағашта); мезофил (орман аймағында); полифитофаг (тұқымның құрамымен қоректенеді); моновольтинді; ересек даралары қыстайды (Кержнер, 1972).

Piezodorus lituratus (Fabricius, 1794). Іле Алатауы, Қарғалы шатқалы. 26.07.2023. 2♀, 2♂; Алматы қаласы, ботаника бағы, 23.06.2023, 2♀, 2♂; 12.07.2023, 1♀, 2♂; 28.07.2023, 2♀, 1♂; Баум тоғайы, 25.07.2023, 1♀, 2♂. Дендро-тамно-хортобионт; мезофил (дала, биік шөпті шалғындар, жайылмалы орман шеттері мен шабындықтары, тауларға 1500 м дейін биіктікке көтеріледі); кең олигофитофаг (әртүрлі бұршақ дақылдарында *Leguminosae*: *Vicia*, *Caragana* және т.б., жас ересектер ағаштар мен бұталардың көптеген түрлерінде жиі кездеседі (Пучков, 1961); моновольтинді; ересек даралары қыстайды.

Зерттеу нәтижелері

Төменде 2023 жылы Оңтүстік-Шығыс Қазақстан ағаш жартылай қаттықанаттыларын зерттеу нәтижелері беріліп отыр (кесте 1).

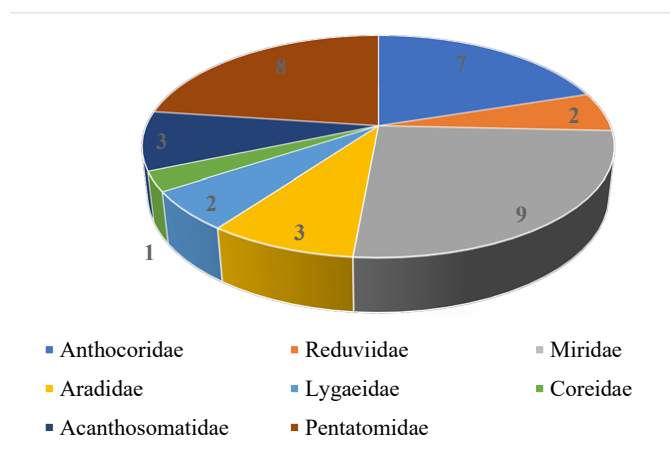
Кесте 1

Оңтүстік-Шығыс Қазақстан ағаш жартылай қаттықанаттыларының таксондық құрамы

| Тұқымдас | Түр | Саны | % |
|--------------|---|------|----|
| Anthocoridae | <i>Acomporis pilipes</i> Stys, 1960 <i>Anthocoris minki pistaciae</i> Wagner, 1957 <i>Anthocoris pilosus</i> (Jakovlev, 1877) <i>Elatophilus stigmatellus</i> (Zetterstedt, 1838) <i>Tetraphleps aterrima</i> (J.Sahlberg, 1878) <i>Orius horvathi</i> (Reuter, 1884) <i>Orius minutus</i> (Linnaeus, 1758) | | |
| Reduviidae | <i>Rhynocoris annulatus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Rhynocoris iracundus</i> (Poda, 1761) | 2 | 6 |
| Miridae | <i>Deraeocoris annulipes</i> (Herrich-Schaffer, 1842) | 9 | 26 |

| | | | |
|------------------|--|----|-----|
| | <i>Lygocoris rugicollis</i> (Fallen, 1807) <i>Blepharidopterus angulatus</i> (Fallen, 1807) <i>Cylloceria decorata</i> (Kiritshenko, 1931) <i>Orthotylus bilineatus</i> (Fallen, 1807) <i>Orthotylus nassatus</i> (Fabricius, 1787) <i>Pilophorus confusus</i> (Kirschbaum, 1856) <i>Atractotomus mali</i> (Meyer-Dur, 1843) <i>Campylomma verbasci</i> (Meyer-Dur, 1843) | | |
| Aradidae | <i>Aneurus avenius avenius</i> (Dufour, 1833) <i>Aradus flavicornis</i> Dalman, 1823 <i>Aradus lugubris</i> Fallen, 1807 | 3 | 8 |
| Lygaeidae | <i>Artheneis intricata</i> V.G. Putshkov, 1969 <i>Holcocranum saturejae</i> (Kolenati, 1845) | 2 | 6 |
| Coreidae | <i>Gonocerus juniperi</i> Herrich-Schaffer, 1839 | 1 | 3 |
| Acanthosomatidae | <i>Acanthosoma forcipatum</i> Reuter, 1881 <i>Elasmucha dorsalis</i> (Jakovlev, 1876) <i>Elasmucha grisea grisea</i> (Linnaeus, 1758) | 3 | 8 |
| Pentatomidae | <i>Jalla dumosa</i> (Linnaeus, 1758) <i>Picromerus bidens</i> (Linnaeus, 1758) <i>Rhacognatus punctatus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Zicrona caerulea</i> (Linnaeus, 1758) <i>Chlorochroa pinicola</i> (Mulsant & Rey, 1852) <i>Apodiphus integriceps</i> Horvath, 1888 <i>Rhapigaster brevispina</i> Horvath, 1889 <i>Piezodorus lituratus</i> (Fabricius, 1794) | 8 | 23 |
| 8 | | 35 | 100 |

Оңтүстік-Шығыс Қазақстан ағаш жартылай қаттықанаттыларын зерттеу нәтижесінде 8 тұқымдасқа жататын 35 түр анықталды. Бұлардың ішінде түр құрамы жағынан басым Miridae тұқымдасы (9 түр), Pentatomidae тұқымдасы (8 түр), Anthocoridae тұқымдасы (7 түр), қалған 5 тұқымдастан 1-3 түрден белгілі болды (сурет 1).



Сурет 1. Түрлерді тұқымдастарға бөлу

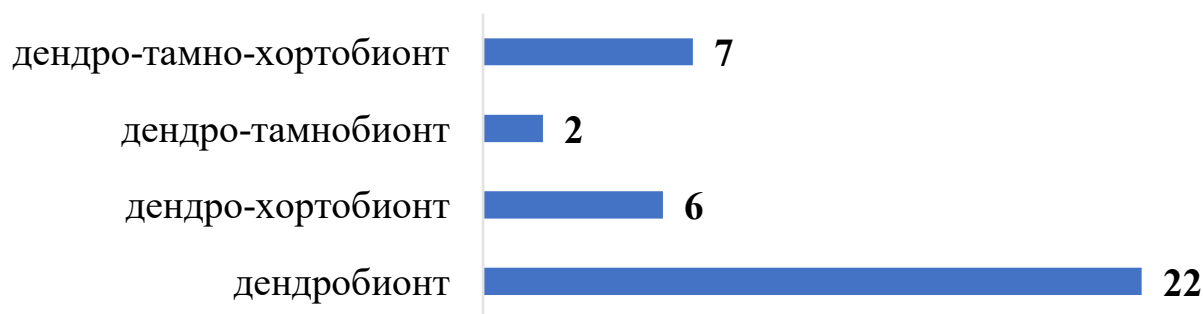
Қорытынды

Ағаш жартылай қаттықанаттылары тіршілік ету ортасына қарай дендробионт, дендро-тамнобионт, дендро-тамно-хортобионт, дендро-хортобионт болып бөлінеді (сурет 2). Дендробионттар (22 түр): *Acomporis pilipes*, *Anthocoris minki pistaciae*, *Elatophilus stigmatellus*, *Tetrableps aterrima*, *Deraeocoris annulipes*, *Blepharidopterus angulatus*, *Cylloceria decorata*, *Orthotylus bilineatus*, *Orthotylus nassatus*, *Pilophorus confusus*, *Atractotomus mali*, *Aneurys avenius avenius*, *Aradus flavicornis*, *Aradus lugubris*, *Artheneis intricata*, *Holcocranium saturejae*, *Gonocerus juniperi*, *Elasmucha grisea grisea*, *Picromerus bidens*, *Rhacognatus punctatus*, *Chlorochroa pinicola*, *Rhapigaster brevispina*.

Дендро-хортобионттар (6 түр): *Anthocoris pilosus*, *Orius horvathi*, *Rhynocoris annulatus*, *Rhynocoris iracundus*, *Campylomma verbasci*, *Jalla dumosa*.

Дендро-тамнобионттар (2 түр): *Acanthosoma forcipatum*, *Elasmucha dorsalis*.

Дендро-тамно-хортобионттар (4 түр): *Orius minutus*, *Lygocoris rugicollis*, *Zicrona caerulea*, *Piezodorus lituratus*.



Сурет 2. Тіршілік ету ортасына қарай түрлерді бөлу

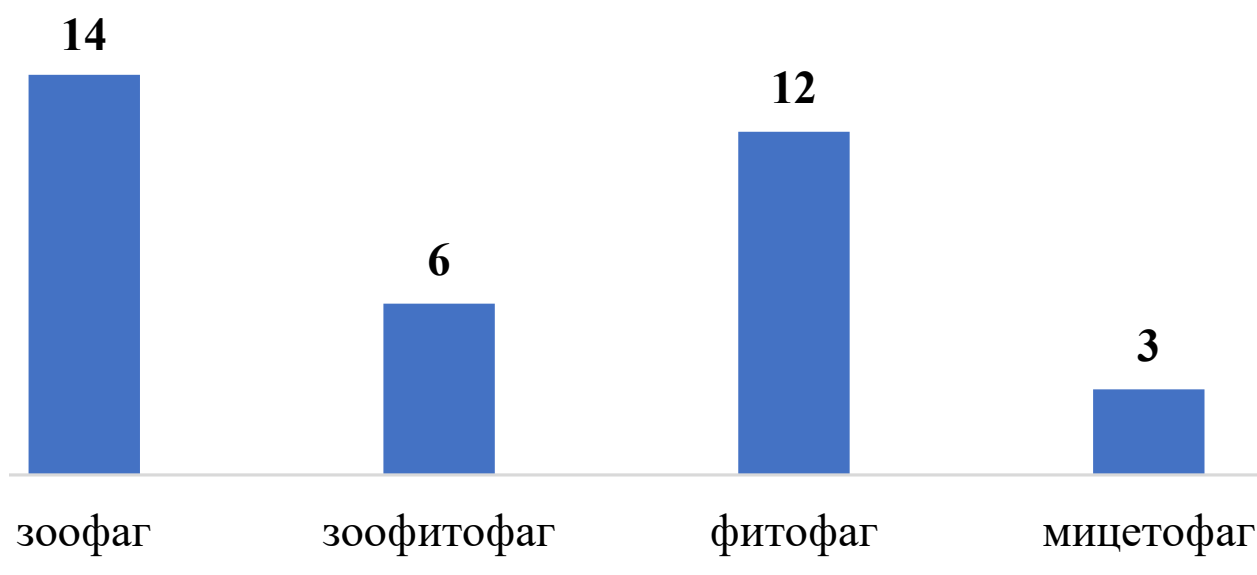
Ағаш жартылай қаттықанаттылары қоректік байланысы жағынан зоофагтар (14 түр), зоофитофагтар (6 түр), фитофагтар (12 түр) және мицетофагтар (3 түр) болып бөлінеді (сурет 3).

Зоофагтар (14 түр): *Acomporis pilipes*, *Anthocoris minki pistaciae*, *Anthocoris pilosus*, *Elatophilus stigmatellus*, *Tetrableps aterrima*, *Orius horvathi*, *Orius minutus*, *Rhynocoris annulatus*, *Rhynocoris iracundus*, *Pilophorus confusus*, *Jalla dumosa*, *Picromerus bidens*, *Rhacognatus punctatus*, *Zicrona caerulea*,

Зоофитофагтар (6 түр): *Deraeocoris annulipes*, *Blepharidopterus angulatus*, *Cylloceria decorata*, *Orthotylus bilineatus*, *Atractotomus mali*, *Campylomma verbasci*.

Фитофагтар (12 түр): *Lygocoris rugicollis*, *Orthotylus nassatus*, *Artheneis intricata*, *Holcocranium saturejae*, *Gonocerus juniperi*, *Elasmucha grisea grisea*, *Elasmucha dorsalis*, *Elasmucha grisea grisea*, *Chlorochroa pinicola*, *Apodiphus integriceps*, *Rhapigaster brevispina*, *Piezodorus lituratus*.

Мицетофагтар (3 түр): *Aneurus avenius avenius*, *Aradus flavicornis*, *Aradus lugubris*.



Сурет 3. Түрлерді қоректік байланысына қарай бөлу

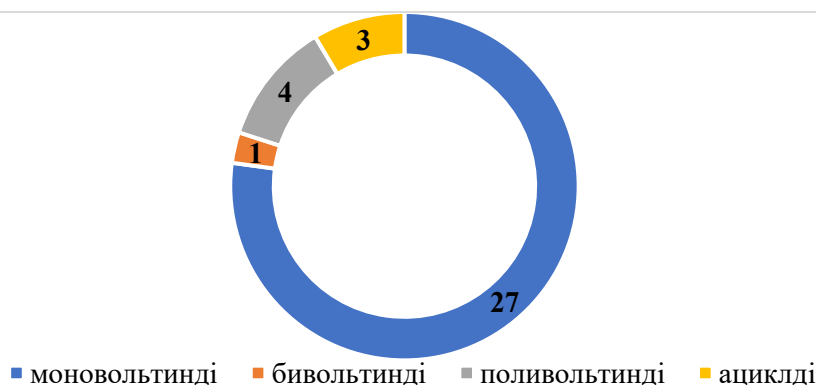
Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның ағаш жартылай қаттықанаттылары жыл сайын беретін ұрпақ санына қарай 4 топқа бөлінеді: моновольтинді (27 түр), бивольтинді (1 түр), поливольтинді (4 түр), ациклді (3 түр) (сурет 4).

Моновольтинді (27 түр): *Acomporis pilipes*, *Anthocoris minki pistaciae*, *Elatophilus stigmatellus*, *Tetraphleps aterrима*, *Rhynocoris annulatus*, *Rhynocoris iracundus*, *Deraeocoris annulipes*, *Blepharidopterus angulatus*, *Cyllecoridea decorata*, *Orthotylus bilineatus*, *Orthotylus nassatus*, *Pilophorus confusus*, *Atractotomus mali*, *Artheneis intricata*, *Holcocranum saturejae*, *Gonocerus juniperi*, *Acanthosoma forcipatum*, *Elasmucha dorsalis*, *Elasmucha grisea grisea*, *Jalla dumosa*, *Picromerus bidens*, *Rhacognatus punctatus*, *Zicrona caerulea*, *Chlorochroa pinicola*, *Apodiphus integriceps*, *Rhapigaster brevispina*, *Piezodorus lituratus*.

Бивольтинді (1 түр): *Lygocoris rugicollis*.

Поливольтинді (4 түр): *Anthocoris pilosus*, *Orius horvathi*, *Orius minutus*, *Campylomma verbasci*.

Ациклді (3 түр): *Aneurus avenius avenius*, *Aradus flavicornis*, *Aradus lugubris*.



Сурет 4. Түрлерді жылына беретін ұрпақ санына қарай бөлу

Зерттеу аймағындағы түрлер экологиялық жағынан мезофилді түрлер.

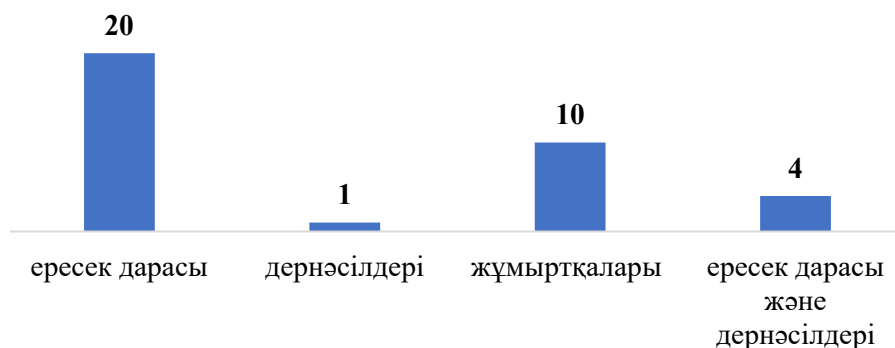
Жартылай қаттықанаттыларда көптеген түрлерде қыстау кезеңі ересек дарасы сатысында (20 түр), жұмыртқа сатысында (10 түр), ересек дарасы және дернәсіл сатысында (4 түр), дернәсілдері сатысында (1 түр) болады (диаграмма 5).

Ересек дарасы сатысында (20 түр): *Acomporis pilipes*, *Anthocoris minki pistaciae*, *Anthocoris pilosus*, *Elatophilus stigmatellus*, *Tetraphleps aterrima*, *Orius horvathi*, *Orius minutus*, *Artheneis intricata*, *Holcocranum saturejae*, *Gonocerus juniperi*, *Acanthosoma forcipatum*, *Elasmucha dorsalis*, *Elasmucha grisea grisea*, *Jalla dumosa*, *Rhacognatus punctatus*, *Zicrona caerulea*, *Chlorochroa pinicola*, *Apodiphus integriceps*, *Rhapigaster brevispina*, *Piezodorus lituratus*.

Дернәсілдері сатысында (1 түр): *Rhynocoris annulatus*.

Жұмыртқа сатысында (10 түр): *Deraeocoris annulipes*, *Lygocoris rugicollis*, *Blepharidopterus angulatus*, *Cyllecoridea decorata*, *Orthotylus bilineatus*, *Orthotylus nassatus*, *Pilophorus confusus*, *Atractotomus mali*, *Campylomma verbasci*, *Picromerus bidens*.

Ересек дарасы және дернәсіл сатысында (4 түр): *Rhynocoris iracundus*, *Aneurus avenius avenius*, *Aradus flavicornis*, *Aradus lugubris*.



Сурет 5. Түрлерді қыстау сатысына қарай бөлу

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқып танысқан және мүдделер қақтығысы жоқ. Жұмыстың қаржылық қолдау көзі ТТН BR18574058 "Қазақстан жануарларының Қызыл кітабын және сирек кездесетін және құрып кету қаупі төнген жануарлар бойынша электрондық деректер базасын әзірлеу" тақырыбы бойынша мақсатты қаржыландыру бағдарламасы.

Авторлардың қосқан үлесі

Қорғанбек Х.Ф. қосқан үлесі: концептуализация, әдеби шолу жасау, зерттеу барысында материалдарды жинап және оларды талдау, мақаланың мәтінін жазу.

Есенбекова П.А. қосқан үлесі: концептуализация, зерттеуді жүргізу үшін әдіс-тәсілдерді бекіту, мақала мазмұнын сыни тұрғыдан тексеру, мақаланың соңғы нұсқасын жариялауға бекіту.

Әдебиеттер тізімі

1. Асанова Р.Б. Полужесткокрылые древесной и кустарниковой растительности Казахстана // Материалы 1-й науч. конференции молодых спец-в и аспирантов. Мин-во с/х Каз ССР, КазИЗР. – АлмаАта: Мин. сельхоз. Каз ССР, КазИЗР, 1969. – С. 10-12.
2. Асанова Р.Б., Искаков Б.В. Вредные и полезные полужесткокрылые (Heteroptera) Казахстана. Определитель. – Алма-Ата: Изд-во «Кайнар», 1977. – 204 с.
3. Гидаятов Д.А. Полужесткокрылые группы пентатомоморфа Азербайджана. – Баку: Изд-во «Элм», 1982. – 160 с.
4. Голуб В.Б., Цуриков М.Н., Прокин А.А. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 339 с.
5. Йосифов М. Heteroptera, Pentatomoidea. II // Фауна на България. – 1981. – Т. 12. – С. 1-205
6. Кержнер И.М. Клопы-щитники рода *Elasmucha* Stal (Heteroptera, Acanthosomatidae) фауны СССР // Зоол. журн. – 1972. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 214-219
7. Кержнер И.М. Новые и малоизвестные полужесткокрылые (Heteroptera) из Казахстана и других районов СССР // Тр. Зоол. инст-та АН СССР. (Новые виды насекомых фауны Казахстана). – 1964. – Т. 34. – С. 113-130
8. Кержнер И.М., Ячевский Т.Л. Отряд Hemiptera (Heteroptera) – Полужесткокрылые, или клопы // Определитель насекомых европейской части СССР (под ред. Г.Я. Бей-Биенко). – Москва-Ленинград: Наука, 1964. – С. 655-845
9. Кириченко А.Н. Методы сбора настоящих полужесткокрылых и изучения местных фаун. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1957. – 124 с.
10. Кириченко А.Н. Насекомые полужесткокрылые (Insecta, Hemiptera) // Фауна России и сопредельных стран. – Санкт-Петербург, 1913. – 301 с.
11. Кириченко А.Н. Настоящие полужесткокрылые (Heteroptera) европейской части СССР. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1951. – 423 с.

12. Нейморовец В.В. Дополнение к фауне полужесткокрылых (Heteroptera) Краснодарского края и Республики Адыгея // Энтомолог. обозр. – 2003. – Т. 82. – Вып. 3. – С. 584-589
13. Лер П.А. Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Т. II. Равнокрылые и полужесткокрылые. – Ленинград: Наука, 1988. – 972 с.
14. Пучков В.Г. Беритиди, червоноклопи, пізматиди, підкорники і тингіди. // Фауна України. – Київ, 1974. – 332 с.
15. Пучков В.Г. К экологии малоизвестных видов полужесткокрылых (Heteroptera) европейской части СССР. Сообщение IV. Слепняки // Вестн. зоол. – 1971. – № 5. – С. 30-35
16. Пучков В.Г. К экологии малоизвестных видов полужесткокрылых (Heteroptera) европейской части СССР. Сообщение III. // Вестн. зоол. – 1967. – № 5. – С. 66-69
17. Пучков В.Г. Лігеїди // Фауна України. – Київ: Вид. АН УРСР, 1969. – 388 с.
18. Пучков В.Г. Полужесткокрылые. Слепняки, или мириды (общий обзор группы) // Защита растений. (Київ). – 1973. – № 12. – С. 33-36
19. Пучков В.Г. Щитники // Фауна України. – Київ: Вид. АН УРСР, 1961. – 339 с.
20. Пучков В.Г. Щитники Средней Азии (Hemiptera, Pentatomidea). – Фрунзе: Илим, 1965. – 329 с.
21. Фолькина М.Я., 1974. Тли (Aphididae) плодовых деревьев Алма-Атинской зоны плодовогодства. Автореф.канд. дис. – Алма-Ата, 1-21
22. Элов Э.С. Полужесткокрылые сем. Anthocoridae (Heteroptera) Средней Азии и Казахстана // Энтомолог. обозр. – 1976. – Т. 55. – Вып. 2. – С. 369-380.
23. Gredler P.V.M. Rhynchota Tirolensia I. Hemiptera heteroptera (Wanzen) // Verh. Zool. Bot. Ges. Wien. – 1870. – Bd. 20. – S. 69-108
24. Josifov M. Beitrag zur Taxonomie der europäischen Pilophorus-Arten (Insecta: Heteroptera, Miridae) // Reichenbachia. – 1989. – Bd. 27. – S. 5-12
25. Pericart J. Hemipteres Anthocoridae, Cimicidae et Microphysidae de l, Ouest-Palearctique. Faune de l Europe et du basin mediterraneen. – Paris, 1972. – 402 p.
26. Priesner H. Prodromus zui Hemipteren - fauna von Oberosterreicn. III // Z. Wiss. Insektenbiol. – 1928. – 23, N5/7. – S. 113-120
27. Randall T. Schuh & James A. Slater. True Bugs of the World (Hemiptera: Heteroptera): Classification and Natural History. – N.Y.: Cornell University Press, 1995. – 416 p.
28. Robert G. Foottit, Peter H. Adler. Insect Biodiversity: science and society. – Blackwell Publishing Ltd, 2009. – 642 p.
29. Singer E. Die Wanzen (Hemiptera-Heteroptera) des unteren Maingebiets von Hanau bis Wurzburg mit Einschluss des Spessarts // Mitt. Naturwiss. Mus. Aschaffenburg. N.S. – 1952. – 5. – S. 1-128
30. Thomas D.B., Jr. Taxonomic status of the genera Chlorochroa Stal, Rhytidilomia Stal, Lioderion Kirkaldy, and Pitedia Reuter, and their included species (Hemiptera: Pentatomidae) // Annals of the Entomological Society of America. – 1983. – Vol. 76(2). – P. 215-224
31. Zhang Z.-Q. «Phylum Athropoda». Auckland: Magnolia Press, 2013. – P. 17-26
32. Konstantinov F.V. Review of Solenoxyphus Reuter, 1875 (Heteroptera: Miridae: Phylinae). American Museum Novitates. – 2008. – No. 3607. – P. 1-44
33. Malenovský I., Baňář P., Kment P. A contribution to the faunistics of the Hemiptera (Cicadomorpha, Fulgoromorpha, Heteroptera, and Psylloidea) associated with dry grassland sites

in southern Moravia (Czech Republic). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae*. – 2011. – Vol. 96. – P. 41-187

34. Rudoi V.V., Vinokurov N.N., Korshunov A.V. et al. New records of native and alien true bugs (Heteroptera) from Kemerovo Region, Western Siberia, Russia. *Acta Biologica Sibirica*. – 2022. – Vol. 8. – P. 483-506. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7710448>

35. Catalogue of the Palearctic Heteroptera. [Electronic resource] – Available at: https://catpalhet.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=9&epi=1 (accessed: 10.04.2023).

36. Rengifo-Correa, Laura Alexandra. Lygaeoidea (Hemiptera: Heteroptera) de Parques Nacionales Naturales (PNN) con nuevos registros para-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*. – 2011. – Vol. 37. – No. 2. – P. 540

37. Catalogue of the Palearctic Heteroptera. [Electronic resource] – Available at: https://catpalhet.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=9&epi=1 (accessed: 20.03.2023)

38. Ge X., Li J. Review of the genus *Nysius* Dallas from Mongolian Plateau (Hemiptera: Heteroptera: Orsillidae). *Zootaxa*. – 2019. – Vol. 4560. – No. 1. – P. 171-183. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4560.1.10>

39. Rider D.A. Family Pentatomidae Leach, 1815 // *Ibid.* Pentatomomorpha II. – 2006. – Vol. 5. – P. 233-402

40. Foottit R.G., Adler P.H. *Insect Biodiversity: Science and Society*. – 2nd Edition. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2017. – 867 p.

41. Rider David A., Cristiano F. Schwertner, Jitka Vilímová, Dávid Rédei, Petr Kment, Donald B. Thomas. Higher Systematics of the Pentatomoidea // *Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea)*. Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management. – New York: CRC Press, 2018. – 840 p.

42. McPherson J.E., Scott Bundy C., Alfred Wheeler G. Overview of the Superfamily Pentatomoidea // *Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea)*. Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management. – New York: CRC Press, 2018. – 840 p.

43. Mammedova T.R., Mustafaeva E.F. Study of Pentatomidae (Heteroptera) species distributed in different regions of Azerbaijan. *Agrarian science*. – 2021. – Vol. 10. – P. 74-77. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-74-77>

Х.Ф. Қорғанбек¹, П.А. Есенбекова²

¹*Костанайский региональный университет им. А. Байтұрсынова, Костанай, Казахстан*

²*РГП «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан*

Биология и экология древесных полужесткокрылых (Hemiptera, Heteroptera) юго-восточного Казахстана

Аннотация. В результате изучения древесных полужесткокрылых юго-восточного Казахстана выявлено 35 видов, относящихся к 8 семействам. Среди них преобладающие по видовому составу семейства: слепняки (Miridae - 9 видов), настоящие щитники (Pentatomidae - 8 видов),

хищники-крошки (*Anthocoridae* - 7 видов), а из остальных 5 семейств известны по 1-3 вида. По месту обитания древесные полужесткокрылые делятся на дендробионтов (22 вида), дендро-тамнобионтов (2 вида), дендро-тамно-хортобионтов (4 вида), дендро-хортобионтов (6 видов). Древесные полужесткокрылые по трофической связи делятся на зоофагов (14 видов), зоофитофагов (6 видов), фитофагов (12 видов) и мицетофагов (3 вида). Древесные полужесткокрылые юго-восточного Казахстана по числу поколений в год разделяются на 4 группы: моновольтинные (27 видов), бивольтинные (1 вид), поливольтинные (4 вида), ациклические (3 вида). Виды в районе исследований относятся к экологически мезофильным видам. У многих видов полужесткокрылых период зимовки проходит в стадии имаго (20 видов), стадии яйца (10 видов), стадии имаго и личинки (4 вида) и личиночной стадии (1 вид).

Ключевые слова: юго-восточный Казахстан, древесные полужесткокрылые, *Heteroptera*.

Kh.G. Korganbek¹, P.A. Esenbekova²

¹*Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan*

²*RSE "Institute of zoology" CS of the MSHE of the RK, Almaty, Kazakhstan*

Biology and ecology of arboreal hemipterans (*Hemiptera*, *Heteroptera*) in South-Eastern Kazakhstan

Abstract. As a result of the study of arboreal hemipterans of South-Eastern Kazakhstan, 35 species belonging to 8 genera were identified. Among them are the Miridae family (9 species), the Pentatomidae family (8 species), the Anthocoridae family (7 species), and 1-3 species are known from the remaining 5 families. According to the habitat, arboreal hemipterans are divided into dendrobionts (22 species), dendro-tamnobionts (2 species), dendro-tamno-hortobionts (4 species), dendro-hortobionts (6 species). Arboreal hemipterans are divided by trophic relationship into zoophages (14 species), zoophytophages (6 species), phytophages (12 species) and mycetophages (3 species). Arboreal hemipterans of South-East Kazakhstan are divided into 4 groups according to the number of generations they give per year: monovoltine (27 species), bivoltine (1 species), polyvoltine (4 species), acyclic (3 species). The species in the study area are ecologically mesophilic. In many species of *Hemiptera*, the wintering period takes place in the adult stage (20 species), the egg stage (10 species), the adult and larval stage (4 species), and the larval stage (1 species).

Keywords: South-Eastern Kazakhstan, arboreal hemipterans, *Heteroptera*.

References

1. Asanova R.B. Poluzhestkokrylye drevesnoj i kustarnikovej rastitel'nosti Kazahstana. Materialy 1-j nauch konferencii molodyh spec-v i aspirantov. Min-vo s/h Kaz SSR, KazIZR, AlmaAta: Min. sel'hoz. Kaz SSR, KazIZR [Hemiptera of tree and shrub vegetation of Kazakhstan. Materials of the 1st scientific conference of young specialists and graduate students. Ministry of Agriculture of the Kazakh SSR, KazIZR, Alma-Ata: Min. agricultural Kaz SSR, KazIZR], 10-12 (1969). [in Russian]
2. Asanova R.B., Iskakov B.V. Vrednye i poleznye poluzhestkokrylye (*Heteroptera*) Kazahstana. Opredelitel' [Harmful and beneficial hemiptera (*Heteroptera*) of Kazakhstan. Determinant] (Alma-Ata, Izd-vo «Kajnar», 1977, 204 s.) [Alma-Ata, Publishing House "Kainar", 1977, 204 p.]. [in Russian]

3. Gidayatov D.A. Poluzhestkokrylye grupy pentatomomorfa Azerbajdzhana [Hemiptera of the pentatomomorph group of Azerbaijan] (Baku, Izd-vo «Elm», 1982, 160 s.) [Baku, Publishing House «Elm», 1982, 160 p.]. [in Russian]
4. Golub V.B., Curikov M.N., Prokin A.A. Kollekcii nasekomyh: sbor, obrabotka i hranenie materiala [Insect collections: collection, processing and storage of material] (Moskva, Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2012, 339 s.) [Moscow, Association of Scientific Publications KMK, 2012, 339 p.]. [in Russian]
5. Josifov M. Heteroptera, Pentatomoidea. II. Fauna na Blgariya [Heteroptera, Pentatomoidea. II. Fauna in Bulgaria], 12, 300 (1981). [in Russian]
6. Kerzhner I.M. Klopy-shchitniki roda Elasmucha Stal (Heteroptera, Acanthosomatidae) fauny SSSR, Zool. zhurn. [Shield bugs of the genus Elasmucha Stal (Heteroptera, Acanthosomatidae) of the fauna of the USSR, Zool. magazine], 51(2), 214-219 (1972). [in Russian]
7. Kerzhner I.M. Novye i maloizvestnye poluzhestkokrylye (Heteroptera) iz Kazahstana i drugih rajonov SSSR, Tr. Zool. inst-ta AN SSSR. (Novye vidy nasekomyh fauny Kazahstana) [New and little-known hemiptera (Heteroptera) from Kazakhstan and other regions of the USSR, Tr. Zool. Institute of the USSR Academy of Sciences. (New species of insects of the fauna of Kazakhstan), 34, 240 (1964). [in Russian]
8. Kerzhner I.M., Yachevskij T.L. Otryad Hemiptera (Heteroptera) – Poluzhestkokrylye, ili klopy. Opredelitel nasekomyh evropejskoj chasti SSSR (pod red. G.Ya. Bej-Bienko) [Order Hemiptera (Heteroptera) – Hemiptera, or bugs. Key to insects of the European part of the USSR (edited by G.Ya. Bei-Bienko) (Moskva-Leningrad, Nauka, 1964, 920 s.) [Moscow-Leningrad, Science, 1964, 920 p.]. [in Russian]
9. Kirichenko A.N. Metody sbora nastoyashih poluzhestkokrylyh i izucheniya mestnyh faun [Methods for collecting true hemiptera and studying local faunas] (Moskva-Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1957, 124 s.) [Moscow-Leningrad, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957, 124 p.]. [in Russian]
10. Kirichenko A.N. Nasekomye poluzhestkokrylye (Insecta, Hemiptera). Fauna Rossii i sopredelnyh stran [Hemiptera insects (Insecta, Hemiptera). Fauna of Russia and adjacent countries] (Sankt-Peterburg, 1913, 301 s.) [St. Petersburg, 1913, 301 p.]. [in Russian]
11. Kirichenko A.N. Nastoyashie poluzhestkokrylye (Heteroptera) evropejskoj chasti SSSR [True hemipterans (Heteroptera) of the European part of the USSR] (Moskva-Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1951, 423 s.) [Moscow-Leningrad, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951, 423 p.]. [in Russian]
12. Nejmorovec V.V. Dopolnenie k faune poluzhestkokrylyh (Heteroptera) Krasnodaskogo kraja i Respubliki Adygeya, Entomol. obozr. [Addition to the fauna of hemiptera (Heteroptera) of the Krasnoda Territory and the Republic of Adygea, Entomol. Review], 82(3), 770 (2003). [in Russian]
13. Ler P.A. Opredelitel nasekomyh Dalnego Vostoka SSSR. T. II. Ravnokrylye i poluzhestkokrylye [Key to insects of the Far East of the USSR. T. II. Homoptera and Hemiptera] (Leningrad: Nauka, 1988, 972 s.) [in Russian]
14. Puchkov V.G. Beritidi, chervonoklopi, piezmatidi, pidkorniki i tingidi. Fauna Ukraini [Berithids, wormbugs, piesmatids, subcorns and tingids. Fauna of Ukraine (Kiev, 1974, 332 s.) (Kyiv, 1974, 332 p.). [in Russian]
15. Puchkov V.G. K ekologii maloizvestnyh vidov poluzhestkokrylyh (Heteroptera) evropejskoj chasti SSSR. Soobshenie IV. Slepnyaki, Vestn. zool. [On the ecology of little-known species of

hemiptera (Heteroptera) in the European part of the USSR. Message IV. Horseflies, Vestn. zool.], 5, 100 (1971). [in Russian]

16. Puchkov V.G. K ekologii maloizvestnyh vidov poluzhestkokrylyh (Heteroptera) evropejskoj chasti SSSR. Soobshenie III, Vestn. Zool. [On the ecology of little-known species of hemiptera (Heteroptera) in the European part of the USSR. Message III, Vestn. zool.], 5, 85 (1967). [in Russian]

17. Puchkov V.G. Ligeidi. Fauna Ukraini [Ligeidi. Fauna of Ukraine] (Kiev, Vid. AN URSSR, 1969, 388 s.) [Kyiv, View. AN URSSR, 1969, 388 p.] [in Russian]

18. Puchkov V.G. Poluzhestkokrylye. Slepnyaki, ili miridy (obshij obzor gruppy), Zashita rastenij [Hemiptera. Horseflies, or mirids (general overview of the group), Plant protection], 12, 33-36 (1973). [in Russian]

19. Puchkov V.G. Shitniki. Fauna Ukraini [Shield insects, Fauna of Ukraine] (Kiev, Vid. AN URSSR, 1961, 339 s.) [Kyiv, View. AN URSSR, 1961, 339 p.] [in Russian]

20. Puchkov V.G. Shitniki Srednej Azii (Hemiptera, Pentatomidea) [Shield insects of Central Asia (Hemiptera, Pentatomidea)] (Frunze, Ilim, 1965, 329 s.). [in Russian]

21. Folkina M.Ya., 1974. Tli (Aphididae) plodovyh derevev Alma-Atinskoj zony plodovodstva. Avtoref.kand. dis. [Aphids (Aphididae) of fruit trees in the Alma-Ata fruit growing zone. PhD abstract dis.] (Alma-Ata, 1-21). [in Russian]

22. Elov E.S. Poluzhestkokrylye sem. Anthocoridae (Heteroptera) Srednej Azii i Kazakhstana, Entomol. obozr. [Hemiptera fam. Anthocoridae (Heteroptera) of Central Asia and Kazakhstan, Entomol. Review], 55(2), 369-380 (1976). [in Russian]

23. Gredler P.V.M. Rhynchota Tirolensia I. Hemiptera heteroptera (Wanzen), Verh. Zool. Bot. Ges. Wien. [Rhynchota Tirolensia I. Hemiptera heteroptera (bugs), Verh. Zool. Bot. Ges. Vienna], 20, 69-108 (1870). [in German]

24. Josifov M. Beitrag zur Taxonomie der europaischen Pilophorus-Arten (Insecta: Heteroptera, Miridae), Reichenbachia [Contribution to the taxonomy of European Pilophorus species (Insecta: Heteroptera, Miridae), Reichenbachia], 27, 5-12 (1989). [in German]

25. Pericart J. Hemipteres Anthocoridae, Cimicidae et Microphysidae de l, Ouest-Palearctique. Faune de l Europe et du basin mediterraneen (Paris, 1972, 402 p.).

26. Priesner H. Prodromus zui Hemipteren - fauna von Oberosterreicn. Ill, Z. Wiss. Insektenbiol., 23(N5/7), 113-120 (1928).

27. Randall T. Schuh & James A. Slater. True Bugs of the World (Hemiptera: Heteroptera): Classification and Natural History (N.Y., Cornell University Press, 1995, 416 p.).

28. Robert G. Foottit, Peter H. Adler. Insect Biodiversity: science and society (Blackwell Publishing Ltd, 2009, 642 p.).

29. Singer E. Die Wanzen (Hemiptera-Heteroptera) des unteren Maingebiets von Hanau bis Wurzburg mit Einschluss des Spessarts, Mitt. Naturwiss. Mus. Aschaffenburg. N.S., 5, 1-128 (1952).

30. Thomas D.B., Jr. Taxonomic status of the genera Chlorochroa Stal, Rhytidilomia Stal, Liodermion Kirkaldy, and Pitedia Reuter, and their included species (Hemiptera: Pentatomidae), Annals of the Entomological Society of America, 76(2), 215-224 (1983).

31. Zhang Z.-Q. «Phylum Athropoda» (Auckland, Magnolia Press, 2013, 17-26 p.).

32. Konstantinov F.V. Review of Solenoxyphus Reuter, 1875 (Heteroptera: Miridae: Phylinae). American Museum Novitates, 3607, 1-44 (2008).

33. Malenovský I., Baňář P., Kment P. A contribution to the faunistics of the Hemiptera (Cicadomorpha, Fulgoromorpha, Heteroptera, and Psylloidea) associated with dry grassland sites in southern Moravia (Czech Republic). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae*, 96, 41-187 (2011).
34. Rudoi V.V., Vinokurov N.N., Korshunov A.V. et al. New records of native and alien true bugs (Heteroptera) from Kemerovo Region, Western Siberia, Russia. *Acta Biologica Sibirica*, 8, 483-506 (2022). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7710448>.
35. Catalogue of the Palearctic Heteroptera. [Electronic resource] – Available at: https://catpalhet.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=9&epi=1 (accessed: 10.04.2023).
36. Rengifo-Correa, Laura Alexandra. Lygaeoidea (Hemiptera: Heteroptera) de Parques Nacionales Naturales (PNN) con nuevos registros para-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 37(2), 540 (2011).
37. Catalogue of the Palearctic Heteroptera. [Electronic resource] – Available at: https://catpalhet.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=9&epi=1 (accessed: 20.03.2023).
38. Ge X., Li J. Review of the genus *Nysius* Dallas from Mongolian Plateau (Hemiptera: Heteroptera: Orsillidae). *Zootaxa*, 4560(1), 171-183 (2019). DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4560.1.10>.
39. Rider D.A. Family Pentatomidae Leach, 1815, *Ibid. Pentatomomorpha II*, 5, 233-402 (2006).
40. Foottit R.G., Adler P.H. *Insect Biodiversity: Science and Society*. - 2nd Edition (Oxford, Wiley-Blackwell, 2017, 867 p.).
41. Rider David A., Cristiano F. Schwertner, Jitka Vilímová, Dávid Rédei, Petr Kment, Donald B. Thomas. Higher Systematics of the Pentatomoidea. *Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea). Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management* (New York, CRC Press, 2018, 840 p.).
42. McPherson J.E., Scott Bundy C., Alfred Wheeler G. Overview of the Superfamily Pentatomoidea. *Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea). Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management* (New York, CRC Press, 2018, 840 p.).
43. Mammedova T.R., Mustafaeva E.F. Study of Pentatomidae (Heteroptera) species distributed in different regions of Azerbaijan. *Agrarian science*, 10, 74-77 (2021). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-74-77>.

Авторлар туралы мәлімет:

Қорғанбек Х.Ф. – докторант, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, А. Байтұрсынов көш., 47, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Есенбекова П.А. – биология ғылымдарының кандидаты, энтомология зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, ҚР ҒЖОМ «Зоология институты» РМҚ, Әл-Фараби көш., 93, 050000, Алматы, Қазақстан.

Korganbek Kh.G. – Doctoral student, A. Baitursynov Kostanay Regional University, 47 A. Baitursynov St., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Esenbekova P.A. – candidate of biological sciences, leading scientific staff of the laboratory of entomology, RSE “Institute of zoology” CS of the MSHE of the RK, 93Al-Farabi St., 050000, Almaty, Kazakhstan.



МРНТИ 76.29.29

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-149-159>

Научная статья

Связь между участием в боевых действиях и риском коморбидных кардиометаболических, сердечно-сосудистых заболеваний у ветеранов Афганской войны

Е.В. Осадчая*¹, Р.К. Татаева¹, А.Н. Алехин²

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*Автор для корреспонденции: ossadchaya_ev@mail.ru

Аннотация. В последнее время социально-политические и экономические преобразования в мировом сообществе приводят к увеличению числа межнациональных, религиозных, территориальных и ряда других конфликтов. Данные противоречия и рост числа вооруженных столкновений ведут к нарушению психического и соматического здоровья людей. Кроме того, лидирующую позицию в Казахстане, как и во всем мире, в структуре потери трудоспособности и увеличению преждевременной смертности среди взрослых лиц выступают сердечно-сосудистые заболевания. Так, в результате исследования нами была выявлена высокая распространенность заболеваний сердечно-сосудистой системы у ветеранов Афганской войны, где наиболее часто диагностировали артериальную гипертензию (АГ) у 55,9% и ишемическую болезнь сердца (ИБС) у 30,7% ветеранов. С другой стороны, нарастает число проблем коморбидных состояний у исследованных с ИБС и цереброваскулярными заболеваниями (ЦВЗ) (у 100%), на втором месте ИБС и АГ (у 82,4%), далее по частоте встречаемости - остеоартроз (ОА) (у 35,8%), нервно-психические расстройства (у 27,5%), сахарный диабет (СД) 2 типа (у 18,3%). Соответственно изменяется клиническая картина болезни, что ведет к увеличению частоты госпитализаций, длительности стационарного лечения и снижается эффективность медикаментозной терапии пациентов.

Таким образом, несмотря на длительность прошедшего времени, травматическое событие продолжает сказываться на психоэмоциональном и физиологическом состоянии ветеранов войны, став хроническим. Главным образом, отражаясь в виде нарушений со стороны сердечно-сосудистых и кардиометаболических заболеваний, осложняясь сочетанными патологиями. Необходимость более раннего выявления категории лиц с кардиологическими и метаболическими заболеваниями, и оптимизации реабилитационных мероприятий остается важной областью исследований для обеспечения надлежащего ухода, поддержки общего благополучия и качества жизни ветеранов.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), кардиометаболические заболевания, ветераны войны, коморбидность, артериальная гипертензия (АГ), ишемическая болезнь сердца (ИБС).

Введение

Взаимосвязь между ведением боевых действий и риском коморбидных кардиометаболических и сердечно-сосудистых заболеваний у ветеранов Афганской войны является областью интереса и исследований. Многочисленные научные данные подтверждают, что участие в зоне активных военных операций и связанные с ними травмы могут оказать значительное воздействие на психосоматическое здоровье бывших участников войны [7, 8]. В том числе, длительная усталость, воздействие насилия, страха и ситуаций, угрожающих жизни, переходит в хронический стресс, который может способствовать развитию сочетанных заболеваний. Соответственно, коморбидные пациенты являются одной из самых уязвимых групп пациентов, так как наличие одновременно нескольких заболеваний способствует: ухудшению качества жизни; повышению трудопотерь вследствие временной либо постоянной нетрудоспособности, в том числе инвалидизации; увеличению длительности стационарного лечения и сроков реабилитации. В этой связи коморбидные заболевания представляют практически важную и недостаточно изученную область медицины [9].

Существующая литература подтверждает, что кардиометаболические заболевания, такие, как гипертония, ожирение, диабет и метаболический синдром, имеют более высокие показатели распространенности среди ветеранов войны по сравнению с населением в целом. Так, военнослужащие с их тяжелыми обязанностями чаще подвергаются большей вероятности развития сердечно-сосудистых факторов риска [10, 11]. В том числе, перенесенное посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) [12, 13] ухудшает диагностику, прогноз и течение основного заболевания [14, 15]. Симптомы ПТСР, такие, как повышенное возбуждение, бдительность и нарушения сна, могут привести к физиологическим изменениям, которые впоследствии способствуют развитию и прогрессированию кардиометаболических и сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Более того, распространенность тревожных и депрессивных расстройств среди ветеранов также были связаны с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний [16]. Важно отметить, что взаимосвязь между воздействием боевых действий, кардиометаболическими, сердечно-сосудистыми заболеваниями и психическими расстройствами сложна и может зависеть от различных факторов, включая индивидуальную восприимчивость, генетическую предрасположенность, ранее существовавшие заболевания и доступ к медицинским услугам.

Таким образом, в данном исследовании мы изучили распространенность кардиометаболических, ССЗ, в том числе, артериальной гипертензии (АГ) и ишемической болезни сердца (ИБС) в старшем возрастном поколении спустя десятилетия у ветеранов Афганской войны.

Материалы и методы

Исследование включало бывших военнослужащих-мужчин (ветеранов), участвовавших в боевых действиях на территории Республики Афганистан. Общее число

участников составило - 277. Возрастной диапазон на момент включения в исследование колебался – 53,9±4,91 лет. Все пациенты при поступлении на стационарное лечение проходили комплексное обследование: электрокардиография (ЭКГ), холтеровское суточное мониторирование ЭКГ, эхокардиография (ЭхоКГ), суточное мониторирование артериального давления (СМАД), ультразвуковое доплеровское исследование (УЗДГ) брахиоцефальных сосудов и артерий нижних конечностей, ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости и малого таза, пикфлоуметрия; по показаниям: фиброэзофагогастродуоденоскопия (ФГДС), мультиспектральная компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), электроэнцефалограмма (ЭЭГ). Инвазивные методы (по показаниям): коронарная ангиография (КАГ), электрофизиологическое исследование (ЭФИ) сердца; нагрузочные тесты – велоэргометрия (ВЭМ) и 6-мин. ходьба. Лабораторные методы – биохимические: уровни билирубина, аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), гамма-глутамилтранспептидазы (ГГТП), щелочной фосфатазы (ЩФ), креатинина, скорость клубочковой фильтрации (СКФ), мочевины, глюкозы, гормонов – тиреотропный гормон (ТТГ), свободного тироксина (Т4); титр антител к тиреоглобулину (АТГ); гликемический профиль, гликированный гемоглобин, липидограмму, общий холестерин (ОХС), холестерин липопротеинов высокой плотности (ХСЛПВП), тиреоглобулин (ТГ), коагулограмму (международное нормализованное отношение (МНО), протромбиновый индекс (ПТИ), активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ)) и др. Выполнялась оценка психоэмоционального состояния: частоты, характера и выраженности психоэмоциональных расстройств (тесты – СМОЛ [Зайцев В.П.]). Проведен анализ конвенциональных факторов риска (ФР): курение, прием алкоголя, повышение индекса массы тела (ИМТ), ожирение, нарушение толерантности к глюкозе (НТГ), гиперхолестеринемия (ГХС), низкая физическая активность (НФА), гиперурикемия. За показатель ожирения принимался уровень $ИМТ \geq 30,0$ кг/м².

Все исследования проводились с согласия пациентов и одобрены местным этическим комитетом. Критериями исключения были: острый коронарный синдром, злокачественные новообразования, психические заболевания/расстройства.

Цифровые данные обрабатывались с помощью методов вариационной статистики в программе «STATISTICA 6» и представлены в виде среднего значения (М), стандартное отклонение (SD), медианы (Me) и распространение по квартилям (25% и 75%). Статистическая значимость различий между группами определялась с помощью t-критерия Стьюдента, χ^2 Пирсона. За статистически значимый принимали уровень $p < 0,05$.

Результаты исследования

По результатам исследования нами выявлена у ветеранов Афганской войны высокая частота сердечно-сосудистых заболеваний – артериальная гипертензия и ишемическая болезнь сердца. Далее спектр заболеваемости у данной когорты меняется. На первый

план выходят цереброваскулярные заболевания (ЦВЗ) в виде дисциркуляторной энцефалопатии (ДЭП), нередко осложненной инсультами, отмечается достаточно высокая частота эндокринной патологии: ожирение, сахарный диабет (СД) и патология щитовидной железы. Очевидно, что общее состояние сердечно-сосудистой и нервной систем у ветеранов войны определялось не только ранениями, контузиями, чрезвычайными сверхвысокими стрессовыми ситуациями в зоне боевых действий, но и возрастом, конституционными особенностями, образом жизни, наличием общих факторов риска.

В том числе у ветеранов войны сравнительно реже имели место мультифокальный атеросклероз (25,6%) с поражением брахецефальных сосудов нижних конечностей, а также сравнительно реже встречалась патология щитовидной железы (14,1%) в виде кистозно-узловых образований преимущественно с эутиреозом. Так, наиболее частыми заболеваниями сердечно-сосудистой системы были – АГ (у 55,9%), ИБС (30,7%), превышая уровень популяционных показателей, но в клинической картине больных преобладали признаки цереброваскулярной патологии как следствие ранений, контузий, полученных во время военных действий и проявляющиеся признаками ДЭП II-III степени, у части пациентов с выраженной неврологической симптоматикой, вплоть до судорожного синдрома (у 7,2%), головокружениями, постоянными головными болями, шумом в голове; психоэмоциональными нарушениями: тревожно-депрессивным и неврастеническим синдромами, в ряде случаев психопатическими, агрессивными проявлениями.

С учетом множества полисистемных поражений в исследуемой когорте была проанализирована коморбидность при наиболее часто встречающейся сердечно-сосудистой патологии. Исследован 131 больной с ИБС, стенокардией II-III ФК и перенесенным инфарктом миокарда (7,3%) (Табл. 1).

Таблица 1

Структура коморбидности у ветеранов войны с ИБС

| Коморбидная патология | ВИ (n=131) | |
|-------------------------|------------|-------|
| | n | % |
| АГ | 108 | 82,4% |
| ЦВБ | 131 | 100% |
| ДЭП II степени | 103 | 76,8% |
| ДЭП III степени | 28 | 21,4% |
| Поражение периф.сосудов | 35 | 26,7% |
| Ожирение | 91 | 69,5% |
| СД 2 типа | 24 | 18,3% |
| ОНМК | 8 | 6,1% |
| Тиреопатия | 16 | 12,2% |
| ОА | 47 | 35,8% |

| | | |
|---------------|----|-------|
| Хр.панкреатит | 11 | 8,4% |
| ХОБЛ | 9 | 6,9% |
| НАБП | 9 | 6,9% |
| ХБП | 9 | 6,9% |
| Прочие | 14 | 10,7% |

Примечание: ЦВБ – Цереброваскулярные болезни; ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения; ОА – остеоартроз; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; НАБП – неалкогольная болезнь печени; ХБП – хроническая болезнь почек.

Анализ клинических наблюдений показал, что в рамках коморбидности у пациентов с ИБС особое место занимают ЦВЗ. В этой когорте они встречались в 100 % случаев – у всех больных была диагностирована ДЭП II-III степени (Табл.1). Особенность коморбидности у ветеранов войны заключалась не только в высокой частоте поражения центральной нервной системы (ЦНС) как следствие ранений, контузий, но и в выраженности цереброваскулярного синдрома: ДЭП III степени наблюдалась у 21,4%, нервно-психические расстройства у 27,5%. АГ в этой группе заняла вторую позицию (82,4%). На третьем месте по частоте – ОА (35,8%), СД 2 типа наблюдался у 18,3% пациентов. Обращает внимание высокая частота распространенности ожирения (69,5%). У ветеранов войны с ИБС частота тиреопатии составила 12,2%, поражения периферических сосудов - 23,7%. Далее нами был проведен анализ степени коморбидности в исследуемой группе (Рис. 1).

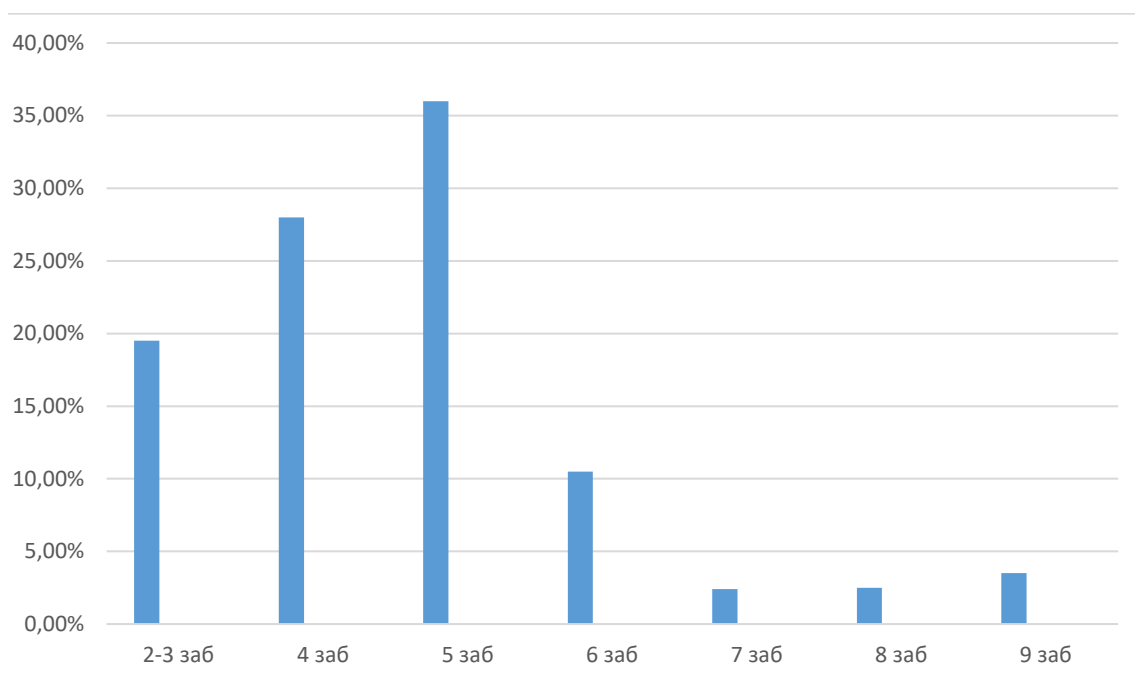


Рисунок 1. Анализ степени коморбидности в исследуемой группе

Среди ветеранов войны наиболее часто (у 36,0%) коморбидность была представлена 5 заболеваниями, далее у 10,5% – 6 патологиями и в 8,4% случаев у одного пациента наблюдалось 7-9 болезней одновременно.

Таким образом, данные представляют информацию о различных заболеваниях, которые часто сопутствуют ИБС у исследуемых пациентов. Отметим, что этот список не является исчерпывающим, и структура сопутствующей патологии у пациентов с ИБС может варьироваться в зависимости от индивидуальных особенностей и факторов риска. Лечение этих сопутствующих состояний наряду с ИБС имеет решающее значение для оптимизации общего состояния здоровья и снижения риска сердечно-сосудистых осложнений. Также связь между ИБС и ДЭП подтверждают важность учета психического состояния пациентов при лечении ИБС. Принимая во внимание высокую частоту обнаружения ДЭП у ветеранов с ИБС, важно проводить комплексное лечение, включая как кардиологическую, так и психологическую помощь.

Обсуждение результатов

Данные результаты нашего исследования ветеранов Афганской войны, наблюдавшихся в отделении стационара, показали структуру коморбидности у ветеранов войны с ИБС. Они указывают на частоту и количество сопутствующих заболеваний у исследуемых пациентов, что соответствует показателям данной возрастной категории в целом [17].

Так, наиболее распространенной коморбидностью среди ветеранов является наличие пяти заболеваний, которое наблюдалось у 36,0% пациентов в группе. Это указывает на высокую вероятность того, что у большинства ветеранов войны с ИБС существует несколько сопутствующих заболеваний. Далее, у 10,5% пациентов было обнаружено шесть заболеваний одновременно. Это свидетельствует о наличии более сложных случаев коморбидности, где пациенты сталкиваются с более широким спектром заболеваний, которые могут взаимодействовать и оказывать влияние друг на друга. Интересно отметить, что у 8,4% пациентов было наблюдаемо сразу от семи до девяти заболеваний одновременно. Это указывает на наличие высокой коморбидности у некоторых ветеранов войны с ИБС, где множественные заболевания сопутствуют их состоянию. Эти результаты подчеркивают важность учета коморбидности при мониторинге здоровья ветеранов войн с ИБС.

Продолжая обсуждение результатов, структура коморбидности у ветеранов войн с ИБС указывает на наличие связанных заболеваний, которые могут повлиять на ход и прогноз ИБС, а также требовать специфического вмешательства и лечения. Некоторые из них могут быть общими рисковыми факторами, такими, как АГ, ЦВЗ, в то время как другие могут быть следствием ИБС, например, поражение периферических сосудов и комплексного подхода по мониторингу здоровья у ветеранов войны с ИБС, учитывая высокую частоту и разнообразие сопутствующих заболеваний. Обнаружение и учет сопутствующих метаболических заболеваний, таких, как ожирение, сахарный диабет

2 типа и другие, помогает определить индивидуальные потребности пациента и разработать план лечения, который учитывает все аспекты их здоровья. Кроме того, высокая коморбидность среди ветеранов войн с ИБС может потребовать более интенсивного медицинского наблюдения и координации работы. Сотрудничество между различными специалистами, такими, как кардиологи, психиатры, эндокринологи и другие, позволяет обеспечить комплексное и индивидуальное лечение пациентов. Интерпретация данных также может способствовать дальнейшему исследованию и разработке стратегий профилактики и управления коморбидными состояниями у ветеранов войны с ИБС. Это может включать превентивные меры, раннюю диагностику и лечение связанных заболеваний, а также образовательные программы для пациентов и работников здравоохранения.

Наконец, эти результаты подчеркивают необходимость обратить особое внимание на здоровье ветеранов войны, учитывая их уникальный набор факторов риска и потребности. Дополнительно, структура коморбидности у ветеранов войны с ИБС может иметь серьезные клинические и практические последствия. Наличие сопутствующих заболеваний может значительно ухудшить прогноз исхода ИБС, увеличить риск развития осложнений и смертности, а также усложнить лечение и увеличить сроки госпитализации пациентов. В том числе, сопутствующие заболевания, такие, как поражение периферических сосудов и тиреопатии, могут взаимодействовать с ИБС, усиливая ее негативные последствия и усложняя течение болезни. Поэтому эффективное управление данными заболеваниями, контроль их рисков факторов и соответствующее лечение играют ключевую роль в снижении общего бремени коморбидности и улучшении прогноза заболеваний у ветеранов войны с ИБС.

Выводы

Полученные данные подчеркивают влияние боевого стрессового фактора на увеличение частоты сердечно-сосудистых заболеваний у ветеранов войны спустя десятилетия. Это исследование подразумевает необходимость более тщательного мониторинга и лечения коморбидных сердечно-сосудистых и кардиометаболических заболеваний, особенно у пожилых ветеранов, чтобы помочь предотвратить неблагоприятные последствия для здоровья в долгосрочной перспективе. Лечение посттравматического стрессового расстройства может помочь предотвратить и контролировать гипертонию, а также замедлить прогрессирование гипертонии в более тяжелые формы сердечно-сосудистых заболеваний. В том числе, подчеркивают сложную коморбидную связь между ПТСР, тревожно-депрессивным расстройством, ЦВЗ, ССЗ у ветеранов войны в Афганистане.

Вклад авторов

Осадчая Е.В. – существенный вклад в концепцию работы; сбор, анализ, интерпретация результатов работы.

Татаева Р.К. – написание текста, критический пересмотр его содержания, курирование данных, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Алехин А.Н. – рецензирование и редактирование.

Все авторы – согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи.

Список литературы

1. Inoue C., Shawler E., Jordan C.H., Jackson C.A. Veteran and Military Mental Health Issues. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572092/> (дата обращения: 15.07.2023).
2. Zimmer Z., Fraser K., Korinek K., Akbulut-Yuksel M., Young Y.M., Toan T.K. War across the life course: examining the impact of exposure to conflict on a comprehensive inventory of health measures in an aging Vietnamese population // *International Journal of Epidemiology*. – 2021. – Vol. 50. – No. 3. – P. 866-879.
3. Верткин А.Л., Скотников А.С., Румянцев М.А. и соавт. Коморбидность: от истоков развития до современного понятия. Как оценить и прогнозировать // *Кардиология*. – 2011. – Т. 7. № 9. – С. 4-14.
4. Масимова А.Э., Мамедов М.Н. Особенности факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний и ишемической болезни сердца среди военнослужащих // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2021. – Т. 20. №1. – С. 71-75. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-2702.
5. Shrestha A., Ho T.E., Vie L.L., Labarthe D.R., Scheier L.M., Lester P.B., Seligman M.E.P. Comparison of Cardiovascular Health Between US Army and Civilians // *Journal of the American Heart Association*. – 2019. – Vol. 8. – No. 12. – P. 1-12.
6. Edmondson D., von Känel R. Post-traumatic stress disorder and cardiovascular disease // *Lancet Psychiatry*. – 2017. – Vol. 4. – No. 4. – P. 320-329.
7. Edmondson D., Kronish I.M., Shaffer J.A., Falzon L., Burg M.M. Posttraumatic stress disorder and risk for coronary heart disease: a meta-analytic review // *American Heart Journal*. – 2013. – Vol. 166. – No. 5. – P. 806-814.
8. Miao X.R., Chen Q.B., Wei K., Tao K.M., Lu Z.J. Posttraumatic stress disorder: from diagnosis to prevention // *Military Medical Research*. – 2018. – Vol. 5. – No. 1. – P. 32.
9. Alexander-Bloch A.F., Raznahan A., Shinohara R.T., Mathias S.R., Bathulapalli H., Bhalla I.P., Goulet J.L., Satterthwaite T.D., Bassett D.S., Glahn D.C., Brandt C.A. The architecture of co-morbidity networks of physical and mental health conditions in military veterans. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0790> (дата обращения: 16.08.2023).
10. Garfield L.D., Scherrer J.F., Hauptman P.J., Freedland K.E., Chrusciel T., Balasubramanian S., Carney R.M., Newcomer J.W., Owen R., Bucholz K.K., Lustman P.J. Association of anxiety disorders and depression with incident heart failure // *Psychosomatic Medicine*. – 2014. – Vol. 76. – No. 2. – P. 128-136.
11. Екушева Е.В. Пожилой пациент с коморбидной патологией в практике кардиолога // *РМЖ. Медицинское обозрение*. – 2018. – №11. – С. 26-29.

Е.В. Осадчая¹, Р.К. Татаева¹, А.Н. Алехин²

¹*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

²*А.И. Герцен атындағы Ресей мемлекеттік педагогикалық университеті, Санкт-Петербург, Ресей*

Ауған соғысы ардагерлерінің ұрыс қимылдарына қатысуы мен кардиометаболикалық және жүрек-қан тамырлары сырқатының қаупі арасындағы байланыс

Аңдатпа. Соңғы уақытта әлемде қоғамдастықтағы әлеуметтік-саяси және экономикалық өзгерістер ұлтаралық, діни, аумақтық және басқа да бірқатар қақтығыстардың көбеюіне әкеліп соқтыруда. Бұл қарама-қайшылықтар мен қарулы қақтығыстар санының артуы адамдардың психикалық және соматикалық денсаулығының бұзылуына әкеледі. Бұдан басқа, Қазақстанда ересектер арасында мезгілсіз өлім-жітімнің ұлғаюында жүрек-қан тамырлары аурулары жетекші орын алады.

Зерттеу нәтижесінде Ауған соғысы ардагерлерінде жүрек-қан тамырлары ауруларының жоғары таралуы анықталды, ардагерлердің 55,9%-ы – артериялық гипертензия (АГ) және 30,7%-ы – жүректің ишемиялық ауруына (ЖИА) жиі диагноз қойылды. Екінші, коморбидтік (қосарлас) жағдай: ЖИА және цереброваскулярлық аурулармен (100%-да), ЖИА және АГ екінші орында (82,4%-да), содан кейін пайда болу жиілігі бойынша – остеоартрит (35,8%-да), жүйке-психиатриялық бұзылулар (27,5%-да) 2-типті қант диабеті (18,3%-да) зерттелгендер арасында қатар жүретін жағдайлар саны артып келеді. Тиісінше, аурудың клиникалық көрінісі өзгереді, бұл ауруханаға жатқызу жиілігінің жоғарылауына, стационарлық емдеу ұзақтығына әкеліп, пациенттердің дәрілік терапиясының тиімділігі төмендейді.

Өткен уақыттың ұзақтығына қарамастан, травматикалық оқиға соғыс ардагерлерінің психоэмоционалды және физиологиялық жағдайына әсер етіп, созымалы түрге ауысады. Кардиологиялық және метаболикалық сырқаттары бар адамдар санатын ертерек анықтау және оңалту шараларын оңтайландыру қажеттілігі ардагерлердің дұрыс күтімін, жалпы әл-ауқатын және өмір сүру сапасын қамтамасыз ету үшін маңызды зерттеу саласы болып қала береді.

Түйін сөздер: жүрек-қан тамырлары аурулары (ЖҚА), кардиометаболикалық аурулар, соғыс ардагерлері, қатар жүретін аурулар, артериялық гипертензия (АГ), жүректің ишемиялық ауруы (ЖИА).

E.V. Ossadchaya¹, R.K. Tatayeva¹, A.N. Alekhin²

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

²*A.I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russia*

Association between participation in combat operations and the risk of comorbid cardiometabolic and cardiovascular diseases in veterans of the Afghan war

Abstract. Recently, socio-political and economic transformations in the world community have led to an increase in the number of interethnic, religious, territorial and a number of other

conflicts. These contradictions and the increase in the number of armed clashes lead to disruption of people's mental and physical health. In addition, cardiovascular diseases occupy a leading position in Kazakhstan, as well as throughout the world, in the structure of disability and the increase in premature mortality among adults. Thus, as a result of the study, we identified a high prevalence of cardiovascular diseases in veterans of the Afghan War, where arterial hypertension (AH) was most often diagnosed in 55.9% and coronary heart disease (CHD) in 30.7% of veterans. On the other hand, the number of problems of comorbid conditions is increasing in those studied with IHD and cerebrovascular diseases (CVD) (in 100%), in second place is IHD and hypertension (in 82.4%), next in frequency is osteoarthritis (OA) (in 35.8%), neuropsychiatric disorders (in 27.5%), diabetes mellitus (DM) type 2 (in 18.3%). Accordingly, the clinical picture of the disease changes, which leads to an increase in the frequency of hospitalizations, the duration of inpatient treatment, and the effectiveness of drug therapy for patients decreases.

Thus, despite the length of time that has passed, the traumatic event continues to affect the psycho-emotional and physiological state of war veterans, becoming chronic. Mainly reflected in the form of disorders of cardiovascular and cardiometabolic diseases, complicated by combined pathologies. The need for earlier identification of individuals with cardiac and metabolic diseases and optimization of rehabilitation interventions remains an important area of research to ensure appropriate care and support the overall well-being and quality of life of veterans.

Keywords: cardiovascular diseases (CVD), cardiometabolic diseases, war veterans, comorbidity, arterial hypertension (AH), coronary heart disease (CHD).

References

1. Inoue C., Shawler E., Jordan C.H., Jackson C.A. Veteran and Military Mental Health Issues. [Electronic resource]. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572092/> (accessed: 15.07.2023).
2. Zimmer Z., Fraser K., Korinek K., Akbulut-Yuksel M., Young Y.M., Toan T.K. War across the life course: examining the impact of exposure to conflict on a comprehensive inventory of health measures in an aging Vietnamese population, *International Journal of Epidemiology*, 50(3), 866-879 (2021).
3. Vertkin A.L., Skotnikov A.S., Romyancev M.A. i soavt. Komorbidnost': ot istokov razvitiya do sovremennogo ponyatiya. Kak ocenit' i prognozirovat' [Comorbidity: from the origins of development to the modern concept. How to evaluate and predict], *Kardiologiya [Cardiology]*, 7(9), 4-14 (2011). [in Russian]
4. Masimova A.E., Mamedov M.N. Osobennosti faktorov riska serdechno-sosudistyh zabolevanij i ishemicheskoy bolezni serdca sredi voennosluzhashchih [Features of risk factors for cardiovascular diseases and coronary heart disease among military personnel], *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika [Cardiovascular therapy and prevention]*, 20(1), 71-75 (2021). [in Russian]
5. Shrestha A., Ho T.E., Vie L.L., Labarthe D.R., Scheier L.M., Lester P.B., Seligman M.E.P. Comparison of Cardiovascular Health Between US Army and Civilians, *Journal of the American Heart Association*, 8(12), 1-12 (2019).
6. Edmondson D., von Känel R. Post-traumatic stress disorder and cardiovascular disease, *Lancet Psychiatry*, 4(4), 320-329 (2017).

7. Edmondson D., Kronish I.M., Shaffer J.A., Falzon L., Burg M.M. Posttraumatic stress disorder and risk for coronary heart disease: a meta-analytic review, *American Heart Journal*, 166(5), 806-14 (2013).
8. Miao X.R., Chen Q.B., Wei K., Tao K.M., Lu Z.J. Posttraumatic stress disorder: from diagnosis to prevention, *Military Medical Research*, 5(1), 32 (2018).
9. Alexander-Bloch A.F., Raznahan A., Shinohara R.T., Mathias S.R., Bathulapalli H., Bhalla I.P., Goulet J.L., Satterthwaite T.D., Bassett D.S., Glahn D.C., Brandt C.A. The architecture of co-morbidity networks of physical and mental health conditions in military veterans [Electronic resource]. – Available at: <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0790> (accessed: 16.08.2023).
10. Garfield L.D., Scherrer J.F., Hauptman P.J., Freedland K.E., Chrusciel T., Balasubramanian S., Carney R.M., Newcomer J.W., Owen R., Bucholz K.K., Lustman P.J. Association of anxiety disorders and depression with incident heart failure, *Psychosomatic Medicine*, 76(2), 128-36 (2014).
11. Ekusheva E.V. Pozhiloy pacient s komorbidnoj patologiej v praktike kardiologa [An elderly patient with comorbid pathology in the practice of a cardiologist] *RMZh. Medicinskoe obozrenie [RMJ. Medical Review]*, 11, 26-9 (2018). [in Russian]

Сведения об авторах:

Осадчая Е.В. – автор для корреспонденции, магистр технических наук, PhD докторант кафедры общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукан, 13/2, Астана, Казахстан.

Татаева Р.К. – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукан, 13/2, Астана, Казахстан.

Алехин А.Н. – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой клинической психологии и психологической помощи, Институт психологии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, наб. реки Мойки, 48, Санкт-Петербург, Россия.

Ossadchaya E.V. – corresponding author, Master of Engineering Science, PhD student of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Str. Kazhymukan, 13/2, Astana, Kazakhstan.

Tatayeva R.K. – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Str. Kazhymukan, 13, Astana, Kazakhstan.

Alekhin A.N. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Clinical Psychology and Psychological Assistance, Institute of Psychology, A.I. Herzen Russian State Pedagogical University, Str. Moika River, 48, St. Petersburg, Russia.



ХҒТАР 34.15.65

Шолу мақаласы

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-160-187>

Асбест әсерінен туындаған өкпе аурулары жасушалық механизмдеріндегі митохондрияның рөлі

Р.И. Берсимбаев^{ID}, Г.С. Айнагулова*^{ID}

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Жасушалық биология және биотехнология институты, Астана, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: galiya211083@yandex.ru

Аңдатпа. Митохондриялар оттегінің белсенді формаларының (ОБФ) негізгі көзінің бірі болып табылады, сондықтан олар жасушалық тотығу-тотықсыздану процестерін реттеуге және ОБФ сигнализациясына белсенді қатысады. Митохондриялық дисфункция биоэнергия алмасуында және көптеген өкпе ауруларының патогенезінде маңызды рөл атқарады. Митохондрияның тотығу фосфорлану процестері және жасушалық қызметтері әртүрлі жасушалар мен ұлпаларға тән. Сонымен қатар қызметтік және құрылымдық қасиеттері митохондриялар субпопуляцияларының болуына байланысты бір жасуша ішінде гетерогенді болуы да мүмкін. Митохондрияның қызметі жасушалық метаболизмнің өзгерістеріне жауап ретінде өзгеруі де күтіледі. Митохондриялық ДНҚ-ның (мтДНҚ) зақымдалуы митохондриялық дисфункцияның, соның ішінде электронды тасымалдау тізбегінің бұзылуына және митохондриялық мембрана потенциалының жоғалуына әсер етеді. Зақымдалған мтДНҚ қабыну және иммундық жауаптарды тудыратын зақымданумен байланысты молекулалық үлгі ретінде жүреді.

Асбест әртүрлі өкпе ауруларын тудырады, олардың жасушалық молекулалық механизмдері толық зерттелмеген. Асбест талшықтары өкпенің эпителий жасушаларында және макрофагтарда митохондриялық ОБФ өндірісін тудыруы мүмкін. Бұл шолу мақалада асбестпен ағзаға әсер еткенде митохондрия қызметінің молекулалық механизмдері, сонымен қатар мтДНҚ, оттегінің белсенді формаларының түзілуі мен зақымдануы, өкпе ұлпаларындағы митохондриялардың ультрақұрылымдық өзгерістеріне асбесттің әсері және митохондриялардың функционалдық белсенділігіндегі микроРНК-ның рөлі қарастырылды.

Түйін сөздер: асбест, митохондриялар, ОБФ, өкпе аурулары, мтДНҚ, апоптоз, иммундық жасуша реакциясы, микроРНК, митомиР.

Кіріспе

Митохондриялар – барлық эукариоттық организмдерде болатын қос мембраналы жасушалық органоидтар. Олар бірнеше компартменттерден, соның ішінде сыртқы мембранадан, мембрана аралық кеңістіктен, ішкі мембранадан, кристалардан және матрикстен тұрады. Әр бөліктің түрлі қызметтері бар. Митохондриялардың негізгі жасушалық қызметі аденозинүшфосфат (АҰФ) түріндегі энергияны өндіру болып табылады. Жасушадағы митохондриялардың саны бір мыңнан бірнеше мыңға дейін өзгереді және бұл сан ұлпалар мен ағзаның түріне байланысты [1,2].

Митохондриялар тотығу-фосфорлану арқылы энергияны өндіру сияқты негізгі қызметімен қатар, көптеген метаболикалық процестерге қатысып, басқа да түрлі жасушалық қызметтерді орындайды. Митохондриялар жасушалық тотығу-тотықсыздану потенциалын реттейді, маңызды метаболиттерді шығарады және апоптозды, аутофагия мен терморегуляцияны индукциялауда маңызды рөл атқарады, сонымен қатар сигналдарды тасымалдауға, жасуша дифференциациясына, жасушалық циклді реттеуге және жасушаның өсуіне қатысады [3,4].

АҰФ өндірісі ішкі митохондриялық мембранада орналасқан никотинамидадениндинуклеотид дегидрогеназа, цитохром с редуктаза және цитохром с оксидаза сияқты көптеген ақуыздарға байланысты. Бұл ақуыздар цитозольдағы пируватты, глюкозаны және НАДН-ны тотықтырып, энергия алмасуды жүзеге асырады. Бұл процесс мтДНҚ мутацияларының жоғары жиілігі бар митохондрияларда айтарлықтай тотығу стресіне әкеледі және бұл тотығу стресі ісіктің пайда болуына ықпал етуі мүмкін [5]. Митохондрияларға қызығушылық, олардың апоптозды индукциялаудағы маңызды рөлін ашқаннан кейін күрт өсті [6,7].

Митохондриялар жасушалық метаболизмнің өзгеруіне жауап ретінде өздерінің қасиеттерін де өзгерте алады. Әртүрлі жасушалардың энергия қажеттілігінің өзгермелілігі жасушалардың әртүрлі типтеріндегі митохондриялардың көшірмелерінің санын анықтайды [8]. Дегенмен, көшірме санына қарамастан, тыныс алу тізбегінің қалыпты жиналуы мен қызметі үшін функционалды митохондриялық геном қажет.

Құрылымдық жағынан адамның мтДНҚ-сы ядролық ДНҚ-мен салыстырғанда кішірек болады: мтДНҚ-ның ядролық ДНҚ-дан өлшемінен басқа ерекшеліктерінің бірі, қос тізбекті сақиналы құрылымы, оның ұзындығы шамамен 16 мың жұп нуклеотидті құрайды. Жалпы алғанда, адамның мтДНҚ-сында 37 ген бар, оның 13-і электронды тасымалдау тізбегінің маңызды құрамдас бөліктері болып табылатын ақуыздарды кодтауға арналған. Қалған митохондриялық гендер 22 тРНҚ және 2 рРНҚ-дан тұрады. Сонымен қатар, гистондар мен интрондардың болмауына, мтДНҚ-ның тиімсіз оқылуына және қалпына келуінің нашар жүйесіне байланысты митохондриялық ДНҚ, белсенді оттегі түрлері сияқты ішкі және сыртқы деградациялық факторларға көбірек сезімтал болады [9].

Соңғы бірнеше онжылдықта жүргізілген ауқымды зерттеулер, асбестпен индукцияланған өкпе ауруларының молекулалық және жасушалық механизмдеріне митохондриялар қатысының көптеген маңызды механизмдері анықталды [10-12].

Мақалада асбесттің өкпе ауруларына митохондриялық қызмет ету механизмдерінің әсері туралы заманауи түсініктер қаралды.

1. Асбестпен байланысты өкпе аурулары

Асбест табиғатта кездесетін талшықты минералдар тобынан тұрады. Созылуға беріктігі, жылу өткізгіштіктің төменділігі және химиялық әсерге салыстырмалы түрде төзімді келуі сияқты ерекше қасиеттеріне байланысты, асбест талшықтары өнеркәсіпте бұрыннан қолданылып келеді. Табиғи қасиеттеріне байланысты коммерциялық қолдану мақсатында асбест құрылыс, автомобиль және кеме жасау өнеркәсібінде танымал болды [13]. Өндірістік ортадағы жұмысшылардың көптеген топтары, сондай-ақ асбесті өндірумен, өңдеумен және өнеркәсіптік пайдаланумен байланысты қалаларда тұратын халықтың едәуір бөлігі асбест шаңының әсеріне ұшырайды.

Асбест талшықтары пішініне қарай екі түрге бөлінеді: серпентин және амфибол. Серпентинді иректелген асбест талшықтарына хризотил жатады. Дем алу кезінде мұндай талшықтар тыныс алу жолдарының шырышты қабаты айқынырақ болатын жоғарғы тыныс жолдарына енеді. Өз кезегінде амфиболды асбест талшықтарының (крокидолит, амозит, тремолит, антофиллит) уыттылығы жоғары, пішіні түзу және бронхтардың эпителий ұлпасына ине тәрізді кіреді [14,15]. Халықаралық қатерлі ісіктерді зерттеу агенттігі асбесттің барлық анықталған түрлерін бірінші санатты канцерогендер тізіміне жатқызды [16].

Асбест плевра аурулары (плевра фиброзы және плевра бляшкалары), үдемелі өкпе фиброзы (асбестоз), өкпенің ұсақ жасушалы және ұсақ жасушалы емес карциномасы, қатерлі мезотелиома және өкпе ісігі сияқты өкпе ауруларымен байланысты [11,17]. Асбест талшықтары әсер еткеннен кейін көп ұзамай альвеолярлы эпителий жасушаларының ішіне енеді, нәтижесінде жасушалар зақымдалып, өткізгіштік пен пролиферацияның жоғарлауына әкеледі. Өкпенің қатерлі ісігінің негізгі гистологиялық түрлері және барлық дерлік мезотелиомалар асбест әсерінен туындауы мүмкін [18,19]. Асбест талшықтары өкпе жасушаларының қатерлі ісігін тудыратын генетикалық, эпигенетикалық және жасушалық зақымдануды тудыруы мүмкін [20,21]. Дүние жүзіндегі барлық өкпе ісігі жағдайларының 5-7% асбесттің жоғары деңгейіне байланысты деп есептеледі және негізінен ол кәсіптік (мысалы, тау-кен өндірісі) түрде болады [22]. Асбест өнеркәсібіндегі жұмысшылар арасындағы кәсіптік қатерлі ісік өлімінің жартысына жуығы асбестпен байланысты. Асбестпен байланысты өкпе аурулары бүкіл әлемде денсаулық сақтаудың басты проблемасы болып табылады [13,14].

Асбесттің уытты әсері жинақталған дозаға және алғашқы әсерден кейінгі өткен уақытқа байланысты. Асбестпен байланысты аурулар әдетте ағзаға асбест талшықтарының алғашқы әсерінен кейін 15-40 жылдан кейін пайда болады [11]. Барлығына белгілі, өкпе жоғары оттегі ортасында болады және оның ауданы айтарлықтай кең, сондай-ақ қанмен көп мөлшерде қамтамасыз етілуі, өкпені тотығу стресінен туындаған зақымдануға бейім етеді. Өкпенің эпителий жасушаларында,

макрофагтарда және басқа қабыну жасушаларында антиоксиданттық қорғаныс жүйесінің бұзылуы ұлпаларда белсенді оттегі түрлерінің жоғары деңгейіне әкелуі мүмкін [23].

Асбестпен байланысты өкпе аурулары жалпы клиникалық және денсаулыққа қауіпті мәселе болып табылады [17,18]. Асбесттің қатерсіз және қатерлі ауруларға әкелуі мүмкін бірнеше механизмдері бар, оларға хромосомалық деңгейдегі өзгерістер, онкогендердің белсендірілуі, ісіктерді басатын супрессор-гендердің жоғалуы, жасушалық сигнал беру жолдарының өзгеруі, белсенді оттегі түрлерінің генерациясы, апоптоз және тікелей жасушалардың асбест талшықтарымен механикалық зақымдануы кіреді [18,23].

2. Митохондрия, асбест, оттегінің белсенді формалары және тотығу стресі

Асбест шаңы адам жасушаларымен әрекеттескенде, асбест силикаттары катиондарды тартады және байланыстырады, ал өкпеде асбест талшықтары өз бетінде иондарды ұстайды және сол арқылы жасушалық ортаның бұзылуына ықпал етеді [12]. Бұл процестер жасуша мен ДНҚ зақымдануын бастайтын және асбесттің генотоксикалық әсерін түсіндіретін ОБФ тудыруы мүмкін [10,12].

Оттегінің белсенді формалары сыртқы орбитада жұпталмаған электроны бар молекулалық бөлшектер болып табылады және олар жасуша ақуыздарын, нуклеин қышқылдарын және жасуша мембранасының липидтерін зақымдайтын жоғары экономикалық функцияға ие. Тотығу фосфорлану процесінде организмге жеткізілетін оттегінің шамамен 95% митохондрияда суға дейін тотықсызданады. Қалған 5% әртүрлі трансформациялар нәтижесінде (әдетте ферментативті түрде) оттегінің белсенді формаларына айналады, бұл жасушалар үшін өте уытты болып шығады. Оттегінің белсенді формаларына супероксид анионы, гидроксил радикалы, сутегі асқын тотығы және гипохлор қышқылы жатады. Алғашқы үш зат *in vivo* негізінен энергетикалық субстраттардың тотығу метаболизмі кезінде митохондриялық тыныс алу тізбегі арқылы түзіледі. Олар жасушалық гомеостазға қатысатын тотығу-тотықсыздануға сезімтал жолдардың реттеушілері болып табылады және эндогендік антиоксидант пулынан басқа бірнеше транскрипция факторларына әсер етеді.

Асбест әсерінен ОБФ өндірудің кем дегенде үш көзі бар, соның ішінде: а) талшық бетінің реактивтілігі; б) иммундық жасушалардан, әсіресе альвеолярлы макрофагтардан босап шығу; және с) өкпе эпителий жасушалары мен мезотелий жасушалары сияқты иммундық және басқа мақсатты жасушалардан шығарылатын митохондриялық ОБФ [24]. Кейбір асбест талшықтарындағы темірдің жоғары мөлшері, сондай-ақ асбесттің темірді *in vivo* адсорбциялауға бейімділігі темірмен индукцияланған Фентон реакциялары да ОБФ жоғарылауына, қабынуға және канцерогенезге ықпал етеді деген болжамға әкелді [13,14]. Өкпе ұлпасының зақымдалуының негізінде ОБФ және олардың әсерінен пайда болатын тотығу стресі жатқаны белгілі [25].

Қазіргі уақытта тотығу стресінің маркерлері ретінде бос радикалдардың әсерінен алынған тотығу субстраттары, атап айтқанда: липидтердің асқын тотығу өнімдері (липидтердің асқын тотығы және малондиальдегиді), изопростан (арахидон

қышқылының бос радикалдарының тотығу өнімі), және ДНҚ зақымдануының көрсеткіштері ретінде-тимингликоль және 8-гидроксигуанин (8-OHdG) қолданылады.

Тотығу стресі апоптозды, гендік мутацияларды, хромосомалық аберрацияларды және жасуша трансформациясын дамытады [26,27]. Асбесттің жанама әсерлері әдетте үш санатқа бөлінеді: плевра ауруы, өкпе паренхимасының ауруы және ісік аурулары. Плевра әсерлеріне плевралық эффузиялар, бляшкалар және плевраның диффузды қалыңдауы жатады. Паренхимада дөңгелектенген ателектаздар, фиброзды баулар, асбестоз байқалады [11,12].

Жоғарыда айтылғандай, митохондриялар белсенді оттегі түрлерінің негізгі көздерінің бірі болып саналады, сондықтан олар жасушалық тотығу-тотықсыздану процестерін реттеуге және ОБФ сигнализациясына белсенді қатысады [28]. Асбест бірнеше механизмдер арқылы ОБФ өндірісін тудырады, олар ішінара қабыну жасушаларының белсендірілуін, асбест талшықтарындағы темірдің иондық күйін, митохондрияларды және басқа жасушаішілік көздерді қамтиды [12,13]. Асбест талшықтары мтДНҚ-ға [10] және функционалды электрон тасымалдауға әсер етеді, нәтижесінде митохондриядан алынған ОБФ [13] түзіледі. Митохондриялар ОБФ-тәуелді жолдарда негізгі орталық рөл атқарады және биоэнергетикалық метаболизм мен көптеген өкпе ауруларының энергетикалық емес патогенезінде митохондриялық дисфункция маңызды рөл атқарады [24]. Митохондриялық геном өкпе жасушаларына тотығу стресінің цитотоксикалық реакциясын реттейді. ОБФ-индукцияланған митохондриялық дисфункция және зақымдалған митохондриялық ДНҚ фрагменттері өкпе фиброзының және өкпе ісіктерінің патобиологиясына қатысады [29].

Митохондриялар ОБФ генерациясы және тотығу-тотықсыздануға тәуелді сигнал беру арқылы жалпы жасушалық метаболизмді басқара алады және жасуша дифференциациясына, пролиферациясына, тіршілігіне және апоптозына әсер ететін бүкіл жасуша физиологиясын реттейді [24,29]. Асбест шаңының әсерінен туындаған тотығу стресі жасуша пролиферациясын, апоптозды және қабыну реакциясын қоздыратын митогенмен белсендірілген протеинкиназаларды, ядролық фактор κB (NF- κB) және бірнеше ақуыздарды қоса алғанда сигнал беру жолдарын белсендіре алатыны көрсетілген [10,12,19]. Қабыну ОБФ өндірісінің маңызды көзі болып табылады, өйткені асбесттің барлық түрлері цитокиндердің, хемокиндердің, протеазалардың және қабыну реакциясының дамуына ықпал ететін өсу факторларының бөлінуімен бірге жүретін бұзылған фагоцитоз деп аталатын процесс кезінде кеміргіштер мен адамдарда нейтрофилдер мен альвеолярлық макрофагтар арқылы ОБФ генерациясы белсендіріледі [19]. Асбестоздың жануардағы үлгісі альвеолярлы макрофагтардың митохондриялық H_2O_2 өндірісіндегі маңызды рөлін көрсетті [19].

Біздің зертханада жүргізілген зерттеулер хризотил асбестінің теріс жасушалық әсерлер тудыруы мүмкін екенін көрсетті. Асбестке жасушалық жауап реакциясының әртүрлі механизмдері белгілі. Асбест талшықтарының жасушаларға енуі ОБФ жоғарылауына әкеледі және жасушалық компоненттер мен ДНҚ-ның зақымдалуына әкелетін тотығу стресін тудырады. Нәтижесінде әртүрлі сигналдық жүйелер белсендірілуі мүмкін, бұл жасуша өлімін немесе фиброзды және одан әрі канцерогенезді тудырады. MRC5

жасуша (адамның қалыпты өкпе фибробласттары) желісіндегі эксперименттерде асбест шаңына ұшыраған ОБФ деңгейі талданды [30]. Тәжірибелер хризотилдің дозаға тәуелді әсерін көрсетті, доза неғұрлым жоғары болса және асбест талшықтарына әсер ету уақыты неғұрлым ұзақ болса, соғұрлым жасушалық реакция айқынырақ болды. Жасушалық өзгерістер байқалған хризотил асбестінің ең төменгі дозасы 2,5 мкг/см² құрады. Адамның MRC5 фибробласт жасушалар мәдениетіндегі асбест талшықтарының интеркаляциясы жасушалық ОБФ өндірісін индукциялады. Жасушаларды хризотилмен өңдегенде ОБФ деңгейінің өзгеруі инкубациядан соң 6 сағаттан кейін ғана болды, ал жасушалық ОБФ деңгейінің жоғарылауы 24 сағат ішінде байқалды.

Сілтілік комета талдауы жеке жасушалардағы бір және қос тізбекті ДНҚ үзілістерін анықтауға арналған сезімтал сынақ екені белгілі. Көп жағдайда мұндай ДНҚ зақымдануының себептері ОБФ болып табылады. Бұрын, хризотилді асбест жасушалық тотығу стресті тудыруы мүмкін екендігі көрсетілген [30]. Хризотилді асбестпен әсерінен соң, 24 сағаттан кейін ОБФ-нің белсенді өндірісі байқалады. ДНҚ үзілістерінің жиілігі артқан сайын, ОБФ әсеріне ұшыраған геномдық ДНҚ фракциясынан тұратын комета құйрығы да артады. Жасушаларды хризотил асбестінің әртүрлі дозаларымен 24 сағат бойы өңдегеннен кейін комета құйрықтары бар ядролар табылды. Хризотилдің әсерінен бір және екі тізбекті ДНҚ үзілістері анықталғанын ескере отырып, хризотилді асбест ДНҚ тотығуына әкелетін жасушалық тотығу стресін тудырады деген қорытынды жасауға болады.

Бос радикалдардың тотығу күйін бағалаудың ең ақпаратты көрсеткіші липидтердің асқын тотығуының бастапқы өнімдері – диен конъюгаттары, ал хризотил асбест шаңының әсер ету маркері - 8-OHdG болып табылады. Безрукавникова және оның әріптестері [31] асбест өнеркәсібіндегі кәсіби жұмысшылардың жұмыс тәжірибесіне байланысты 8-OHdG деңгейін салыстырды. Көрсеткішті салыстыру кезінде жиырма жылдық жұмыс тәжірибесі бар топта 8-OHdG концентрациясы он жыл жұмыс өтілі бар жұмысшылармен салыстырғанда айтарлықтай жоғары екені көрсетілді (165,84 ± 53,14 пг/мл - 20 жыл, 145,92 ± 54,37 пг/мл - 10 жыл). Бұл асбест бар шаңның әсер ету жағдайында жұмыс тәжірибесінің жоғарылауымен ДНҚ-ның тотығу зақымдану процесінің күшеюін көрсетеді. Митоз кезінде хромосомалардың бөліну сәтінде асбест талшықтарының механикалық әсерінен ДНҚ-ның зақымдалуы болуы да мүмкін.

Түрлі жағдайларға байланысты митохондриялық тыныс алу тізбегі тұтынатын оттегінің белгілі бір мөлшері ОБФ электрондарының түзілуімен қалпына келеді [28]. Кейін ОБФ сутегі асқын тотығына митохондриялық марганецті супероксиддисмутаза немесе цитозольді/митохондриялық Cu,Zn-типті супероксиддисмутазалары арқылы айналуы мүмкін [32]. H₂O₂, өз кезегінде, пероксиредоксин 3 және/немесе каталазаның қатысуымен жойылуы мүмкін. Осы реакциялар арқылы митохондриялар тыныс алу тізбегіндегі электрондардың оттегіге ауысуының және оның толық емес тотықсыздануының жанама өнімі ретінде үздіксіз ОБФ шығарады [33]. Супероксид радикалынан алынған сутегі асқын тотығы ең тиімді жасушалық екінші мессенджерлерінің бірі ретінде танылды. Митохондриялық ОБФ, әсіресе

патологиялық жағдайларда, өте маңызды ауыстырылмайтын SH-топтарының тотығуы арқылы, митохондриялық ДНҚ-ға, биологиялық мембраналық липидтерге және әртүрлі ақуыздар/ферменттерге зиянды әсер етуі мүмкін [34]. Сонымен қатар, ОБФ ферменттерінің модификациясы, мысалы, тиол топтарының тотығуы, жасушалық сигнал беру механизмдерінде маңызды рөл атқара алады [35]. Сондай-ақ белгілі бір концентрацияларда (әдетте төмен) ОБФ жасуша жұмысының қалыпты жағдайында жасуша сигнализациясына қатысатынын атап өткен жөн [36]. Осылайша, митохондриялар ОБФ генерациясы және тотығу-тотықсыздануға тәуелді сигнал беру арқылы жасушаның дифференциациясына, пролиферациясына, тіршілігіне және бағдарламаланған жасуша өліміне (апоптоз) әсер ететін жалпы жасушалық метаболизмді және бүкіл жасуша физиологиясын басқара алады [24,27,35]. Супероксидтің дисмутациясы басқа ОБФ, H₂O₂ түзілуіне әкеледі, ол айтарлықтай уытты болуы мүмкін. H₂O₂ детоксикациясына арналған ферменттердің бірі каталаза болып табылады, ол H₂O₂-нің O₂ және H₂O-ға айналуын катализдейді.

3. Митохондриялар, асбест және апоптоз

ДНҚ зақымдануынан туындаған жасушалық апоптоз, өкпенің ОБФ және асбестке реакциясын анықтайтын маңызды факторларының бірі болып табылады. Апоптоз ісік және асбесттен туындаған өкпе уыттылығы сияқты аурулар дамуының жасушалық гомеостазы үшін маңызды [37]. Өкпенің жедел зақымдалуында альвеолярлы жасушаның II типті гиперплазиясын шешуге жауапты негізгі жол апоптоз болып табылады. Апоптоз бен жасуша пролиферациясының арасындағы тепе-теңдік маңызды, себебі апоптоздың бұзылуынан қабыну реакциясы туындауы немесе қатерлі жасушалардың клондары дамуы күтіледі, ал шамадан тыс апоптоз эпителий тосқауылының дисфункциясына және өкпенің жарақатына ықпал етуі мүмкін [38].

Апоптоздың нақты молекулалық бақылауы анықталмаған, бірақ ОБФ әртүрлі агенттердің әсерінен кейін тікелей немесе екінші мессенджер ретінде апоптозды тудыратын маңызды ынталандырушылардың бірі болып табылады [39]. Альвеолярлы эпителий жасушаларының апоптозы өкпенің қалпына келуіне кедергі келтіретін және өкпе фиброзына ықпал ететін негізгі патофизиологиялық құбылыс болып табылады [40]. Ішкі митохондриялық мембрананың өткізгіштігі апоптоз кезінде мтДНҚ-ны шығаруға мүмкіндік береді. Асбест талшықтары мезотелий жасушаларында, альвеолярлы макрофагтарда және альвеолярлы эпителий жасушаларында апоптозды тудырады. Апоптоз немесе бағдарламаланған жасуша өлімі ДНҚ-ның ауқымды зақымдануы бар жасушаларда қабыну реакциясын тудырмай, жойылатын маңызды механизмі болып табылады [41].

Апоптозды реттеудің екі негізгі жолы бар, оның ішінде ішкі жол (митохондриямен реттеледі) және сыртқы жол (өлім рецепторы). Ішкі жол ОБФ, ДНҚ зақымдануы сияқты әртүрлі тітіркендіргіштермен белсендіріледі, сыртқы митохондриялық мембрананың өткізгіштігін жоғарылату, митохондриялық мембрана потенциалын ($\delta\psi m$) төмендету, цитохром c және проапоптотикалық Bcl-2 протеиндерін шығару арқылы ішкі өлім

жолын белсендіреді (мысалы, Bax, Bak, Bid және т.б.), олар каспаза-9, содан кейін төмендегі каспаза-3 белсендіреді [42]. Көптеген жасушаларда апоптоз митохондриялық жолға байланысты, өйткені митохондриялардан цитозольға бөлінген цитохромс каспаза протеазаларын белсендіреді. Bcl-2 туысты белоктардың антиапоптоздық мүшелері (Bcl-2, Bcl-XL, Mcl-1) жасушалардың өмір сүруіне ықпал етеді. Керісінше, проапоптотикалық (Bax және Bak, Bid, Bim және Bad) мүшелері проапоптотикалық ақуыздарды тарту арқылы апоптозды индукциялайды [43]. Митохондриялар механикалық сезімтал және цитоқаңқа кернеуді жасушадан тыс матрицадан (ЖТМ) митохондриялық желіге жібереді. Жауап ретінде митохондриялық мембрана потенциалы төмендейді. Проапоптотикалық ақуыздар созылумен индукцияланған митохондриялық апоптозға ықпал етеді. Эпителий жасушаларына ЖТМ бекінуінің жоғалуы Bax-тың тез жиналуына әкеледі. Сонымен қатар, F-актинді қайта құру митохондрияның кластерлеуі және өлім рецепторларын белсендіру үшін қажет [44].

Шукла мен оның әріптестерінің [45] зерттеулері альвеолярлы эпителий жасушаларының (АЭЖ) асбест тудыратын ішкі апоптоздына протеинкиназа С дельта ферментінің (PKC δ) маңызды рөлін көрсетті. *In vitro* және *in vivo* тәжірибелерде асбесттің әсерінен кейін PKC δ белсендіріледі және бұл фермент бронхиолярлық жасушалар мен АЭЖ митохондрияларына миграцияланады. Бұл зерттеулер PKC δ -ның әсері мен митохондриялық ОБФ өндірісі митохондриялық қызметінің өзгеруіне асбестпен индукцияланған ішкі апоптоздың қатысы бар екенін көрсетеді. ОБФ өндірісі және апоптоздың асбест талшықтарын интегриндер немесе басқа рецепторлар арқылы ішке енгізу қажеттігі туралы дәлелдер бар [46]. Сондай-ақ, асбест (хризотил, крокидолит және амозит) бронх-альвеолярлық түтік жасушаларында, дистальды альвеолярлы эпителийде және мезотелий жасушаларында апоптозды индукциялайтынын көрсететін, түрлі әдістермен бағаланған *in vivo* тәжірибелерде деректер бар [47].

Митохондриялық апоптоз иммундық жауапты тудырмай, өлі жасушаларды тез және тиімді жоюға мүмкіндік беретін жасуша өлімінің қабынусыз түрі болып саналады [48]. Митохондриялық апоптоздың қабынусыз сипаты үшін каспазаның белсенділігі маңызды, егер митохондрияның сыртқы мембранасының өткізгіштігінен кейін каспазалық белсенділік тежелсе, жасуша өлімі орын алады, бірақ I типті интерферон реакциясы және NF- κ B ядролық фактордың активтенуі жүреді. Бұл қабынуға қарсы цитокиндердің өндірілуіне және өліп жатқан жасушаға иммундық жауап қайтарады, яғни осы жағдай ісікке қарсы иммунитеттің бастамасы болады [49]. Сондықтан апоптотикалық каспаза белсенділігінің негізгі қызметі жасушаның өлуі кезіндегі қабынуды басу болуы мүмкін [50].

Асбест талшықтары мтДНҚ және функционалды электронды тасымалдауға әсер етеді, бұл митохондриялық ОБФ (мт ОБФ) өндірісіне әкеледі және өз кезегінде апоптозға делдалдық етеді. мт ОБФ өкпе ауруларының патогенезіне қатысады, олардың кейбіреулері идиопатиялық өкпе фиброзы, асбестоз, тыныс алу жолдарының созылмалы аурулары және өкпе ісігі [47,48]. ОБФ, соның ішінде H₂O₂, митохондриялық дисфункция, ДНҚ-ның зақымдану реакциясы (яғни p53 белсендіру), апоптоз, өсу

жасушаларының өзгеруі және сигналдарды өткізу сияқты биологиялық процестерді белсендіретін әртүрлі жасушалық мишеньдерді (яғни ДНҚ, ақуыздар және липидтер) тотықтырады, бұл тіндердің зақымдалуына, жараның жазылуының бұзылуына және фиброзға әкелуі мүмкін [51].

Апоптоздың жоғары деңгейі, өз кезегінде, еркін айналымдағы нуклеин қышқылдарының бір түрі - еркін айналымдағы митохондриялық ДНҚ (ea-мтДНҚ) есебінен өкпе тінінде қабыну процестерінің дамуының триггеріне айналуы мүмкін. Қатерлі неоплазияның әртүрлі түрлерінде, соның ішінде өкпенің қатерлі ісігінде ea-мтДНҚ-ның көшірмелерінің саны өзгереді [52]. TLR-9 рецепторлары арқылы еркін айналымдағы мтДНҚ NF-κB фактордың сигналдық жолының белсендірілуіне қатысады және соның салдарынан асептикалық қабынудың дамуы орын алады [16].

Хризотил асбестінің әсері жасуша апоптозын бастайтыны, с цитохромының бөлінуін және эффекторлық киназалармен қабыну цитокиндердің экспрессиясын арттыратыны белгілі [53]. Біздің тәжірибелеріміз хризотилмен 24 сағат инкубациялаудан кейін MRC5 адам фибробласт жасушаларының өміршеңдігінің төмендеуін көрсетті және 2,5 мкг/см² минималды әсер ету дозасы 48 сағаттан кейін жасуша өліміне себеп болды. Жасушаның өміршеңдігін бағалаудан басқа, біз жасушаларға хризотилді қосу арқылы өсірілетін қоректік ортадағы жасушадан тыс мтДНҚ көшірмелерінің санын зерттедік [30]. Тотығу стресінен туындаған митохондриядағы зақымданудың жиналуы тыныс алу қызметінің бұзылуына және соңында мтДНҚ-ның тотығуына әкеледі. Митохондриялық деградация нәтижесінде мтДНҚ цитозольға шығарылуы мүмкін және жасушалық жауаптардың кең ауқымын белсендіреді. Тотығу стресінің нәтижесінде 700 жуп нуклеотидтер мөлшеріндегі мтДНҚ фрагменттері босап шығатыны көрсетілген болатын. Біздің деректеріміз көрсеткендей, жасушадан тыс мтДНҚ мөлшері хризотилдің әсер ету ұзақтығына қарай артады. Ең көп көшірме сандары асбест талшықтарының барлық таңдалған концентрацияларына әсер еткеннен соң 48 сағаттан кейін анықталды. Тұтастай алғанда, жасушаның өміршеңдік деңгейі мен жасушадан тыс мтДНҚ көшірмелерінің саны арасында байланыс бар, бірақ бұл параметрлер арасында ешқандай корреляция табылған жоқ. мтДНҚ-ның бөлінуінің нақты механизмдері әлі де аз зерттелген. Бірақ митофагиядан кейін жасуша цитозольде жинақталған мтДНҚ-ны шығаратыны туралы деректер бар. Сондай-ақ, мтДНҚ-ның бөлінуі апоптоз немесе некроз нәтижесінде, жасуша мембранасы бұзылған кезде пайда болуы ықтимал. Шығарылған ea-мтДНҚ эндоцитоз арқылы басқа жасушаларға енеді және қабыну процесін қоздыратын қабыну сигналдары жолдарын белсендіреді.

Митохондриялар проапоптотикалық ақуыздарды, әсіресе с цитохромын шығару арқылы каспазаға тәуелді апоптозды күшейтеді. Бұл процесс митохондриялық кристалардың қайта құрылуымен бірге жүреді. Митохондриялық ішкі мембрана ақуызы болып табылатын митофилин апоптоз кезінде с цитохромының бөлінуін реттей отырып, кристаларды бақылаушы ретінде әрекет ететіні бұрын көрсетілген [54]. РНҚ көмегімен HeLa жасушаларында митофилиннің ноқдауыны, митохондриялық тордың бөлшектенуіне және кристалар ұйымдасуының бұзылуына әкелді. Митофилин

ақуызының тапшылығы бар жасушаларда ішкі апоптотикалық белсендіргіштердің әсерінен митохондриялық кристалар мен мембрана аралық кеңістік арасында с цитохромының қайта бөлінуі байқалды. Митофинді нокдаун жасушалары бақылау жасушаларына қарағанда ішкі апоптотикалық белсендіргіштердің әсерінен с цитохромының жылдам босап шығуына байланысты, апоптозға көбірек бейім екендігі анықталды [55].

4. Өкпе ұлпаларындағы митохондрияның ультрақұрылымдық өзгерістеріне асбесттің әсері

Митохондрияда әртүрлі архитектуралық екі мембрана бар екенін жоғарыда атап өттік, сыртқы мембрана органоидты қоршайды, ал ішкі мембрана екі доменнен (аймақтан) тұрады [1,2]. Сыртқы мембранаға іргелес жатқан ішкі шектеуші мембранада көптеген ақуыздар - транслоказалар бар. Ішкі мембранада кристалар тыныс алу тізбегі мен АТФ синтазасының кешендерін тасымалдайтын терең инвагинацияларды түзеді [3]. Митохондриялардың ең негізгі ерекшелігі - жасушалық зат алмасудың әртүрлі өзгерістеріне жауап ретіндегі морфологиясының динамикалық маңызы. Олардың пішіні, орналасуы, мөлшері мен саны ғана емес, сонымен қатар ішкі ұйымдасуы, яғни ультрақұрылымы да өзгеруі мүмкін [5]. Асбестпен әсер еткенде пайда болатын ультрақұрылымдық өзгерістер әдетте әсер ету дозасына байланысты болады. Өкпе митохондрияларындағы бұл өзгерістерді сипаттау үшін, олардың морфометриялық құрылымына талдау жүргіздік [56].

Біз жануарлардың бақылау тобындағы митохондриялардың барлық эукариоттық жасушаларға тән қалыпты құрылымға ие екендігін көрсеттік: ішкі митохондриялық мембрана көптеген біркелкі параллель қатарларға орналасқан кристаларды түзеді және олар митохондрияның бүкіл кеңістігін толтырады. Олардың митохондриялық матриксі жақсы анықталған, сыртқы және ішкі мембраналардың арасында мембрана аралық кеңістік бар және кристалар ішінде жіңішке саңылаулар анық көрінеді [56]. Асбест шаңының 25 мг және 50 мг дозасына ұшыраған егеуқұйрықтардың өкпелік митохондрияларының ультрақұрылымында өзгерістер пайда болады: кристалар саны айтарлықтай азаяды және олар параллель орналаспайды. Кристалар митохондриялардың ішкі кеңістігін толық толтырмайды, сыртқы және ішкі мембраналары кеңейіп, олардың параллель орналасуы көрінбейді. Бұл өзгерістер егеуқұйрықтарды 50 мг дозада асбестпен интоксикациялаған кезде күшейеді, митохондриялардың матрицасында көптеген ісіктердің болуы байқалады, кристалар іс жүзінде көрінбейді, сыртқы және ішкі мембраналары жарылып, айқын бұзылған құрылымымен сипатталады. Вакуольдену және мембраналық құрылымдардың тұтастығының бұзылуын көрсететін миелин тәрізді түзілістердің пайда болуы байқалады. Тәжірибенің екі дозасында да мембрана аралық кеңістіктің күрт кеңеюі анықталды. Асбест әсерінен өкпе жасушаларында митохондриялық кристалар ұзындығының айтарлықтай қысқаруы анықталып, кристалардың ісінуі мен бұзылуы орын алды, мұны 50 мг асбест әсерінен 91%-ға өскен кристалар диаметрінің

морфометриялық көрсеткіштерінен байқауға болады. Ішкі және сыртқы мембраналар ауданынан, митохондрия кристаларының диаметрі мен ұзындығынан алынған мәліметтер, асбест әсерінен митохондрияның дисфункциясын көрсетуі мүмкін, митохондриялар ультрақұрылымы бұзылыстарының дәрежесін бағалауға мүмкіндік берді.

Әдеттегі митохондриялық ультрақұрылым митохондриялық қызметтің міндетті шарты болып табылады, бұл өз кезегінде жасушалардың, ұлпалардың және ағзалардың жарамдылығы үшін маңызды. Жақында ашылған MINOS кешені мен митофилин ақуыздары [56,57] ашытқыдан адамға дейінгі әртүрлі ағзалардағы митохондриялық мембраналардың архитектурасын ұйымдастыруда шешуші рөл атқарады. MINOS-тың бірте-бірте тұрақсыздануы кристалық байланыстардың бір мезгілде жоғалуына байланысты, бұл MINOS тұтастығы осы құрылымдарды қалыптастыру және/немесе қолдау үшін қажет екенін көрсетеді. Сонымен қатар, MINOS екі митохондриялық мембраналар арасындағы байланысқа қатысады және бірнеше сыртқы мембраналық ақуыздармен физикалық өзара әрекеттесу арқылы байланыс алаңы кешендерін құрайды. Олар бірдей молекулалық механизм кристалық түйіспелердің де, ішкі-сыртқы мембрананың жанасу орындарының да қалыптасуында шешуші рөл атқарады, бұл митохондриялардың екі құрылымдық ерекшелігі бірнеше ондаған жылдар бойы зерттеушілерді таң қалдырды. MINOS-тың бірнеше қызметтерінің негізінде жатқан молекулалық механизмдерді, митохондрияның архитектурасы мен қызметтерін және адам ауруларындағы митохондриялық өзгерістерге байланысты патологиялық процестерді түсінуімізге үлкен әсер етеді [59].

Алдыңғы зерттеулер сонымен қатар митофилин тапшылығы ішкі апоптотикалық ынталандырулар кезінде с цитохромының бөлінуін және жасуша апоптозын индукциялайтынын көрсетеді, ал *Bax* белсендіруіне әсер етпейді. Антиапоптотикалық *Bcl-2* факторының шамадан тыс экспрессиясы митохондрияға *Bax* транслокациясын тежеу арқылы кейінгі апоптотикалық жағдайларды тоқтатады [57,58]. Бұл деректер митофилиннің кристаны қайта құруды модуляциялау арқылы с цитохромның шығарылуын бақылайтынын көрсетеді, бірақ митохондрияның сыртқы мембранасының өткізгіштігіне әсер етпейді. Осылайша, митофилин басқа ақуыздармен бірге митохондриялық кристалардың құрылымын сақтайтын қызметінің күрделі жүйесін құрайды. Митохондриялық кристалардың морфологиясының қалыптасуы мен сақталуындағы уыттылық факторлардың, соның ішінде асбесттің рөлі қосымша зерттеуді қажет етеді.

5. Асбесттің иммундық жауапқа әсері

Асбест құрамында SiO_2 өзегі бар темір, магний және кальцийден тұратын минералды силикат болғандықтан, иммунологиялық әсердің иммунокомпетентті жасушаларының реттелуін бұзады, нәтижесінде ісікке қарсы иммунитет төмендейді. Физикалық ерекшеліктеріне байланысты асбест талшықтары өкпеде, аймақтық лимфа түйіндерінде және плевра қуысында, әсіресе лимфа тамырларында жиналады. Асбест бұл аймақтарда ОБФ түзілуіне байланысты созылмалы қабынуды

тудырады. Нәтижесінде, иммунокомпетентті жасушалар өздерінің жасушалық және молекулалық сипаттамаларына ие болады және асбест талшықтарымен созылмалы және қайталанатын байланыстар түзіп, қабыну арқылы модификациялануы мүмкін, нәтижесінде ісік иммунитетінің төмендеуіне әкеледі [60].

Өкпе макрофагтары ағзаның өкпе жарақатына реакциясын реттеуде маңызды рөл атқарады, өйткені олар ингаляциялық қоздырғыштар мен қоршаған орта токсиндерінен қорғаныстың бірінші желісі болып табылады. Макрофагтар шетелдік агенттерге иммундық жауапты күшейту үшін ғана емес, сонымен қатар зақымдануды қалпына келтіру үшін де маңызды. Бұл ерекше қызметтер, тиісінше, Т-хелпер (Th)1 немесе Th2 цитокиндерімен ынталандыруға байланысты фенотиптік тұрғыдан ерекшеленген субпопуляциялар, классикалық белсендірілген макрофагтар (КБМ; M1) және баламалы белсендірілген макрофагтар (ББМ; M2) арасында ауысу қабілетіне байланысты. Макрофагтардың поляризациясы белгілі бір жағдайларда қатаң реттелетіні белгілі, бұл әсіресе Th1 және Th2-индукцияланған туа біткен иммунитеттегі айырмашылықтарда айқын көрінеді. КБМ қабыну цитокиндердің өндірілуіне жауап береді, ал ББМ қабынуға қарсы және жиі фиброздық жағдайлармен, соның ішінде өкпе фиброзымен байланысты. Th2-индукцияланған ББМ паразиттік инфекциядан, аллергиялық реакциялардан және астмадан қорғайтын болса да, профибротикалық ББМ профиброздық өзгерістерге қатысатын маркер ақуыздарын көрсетеді [61].

Макрофагтарда түзілетін ОБФ хризотил әсерінен, кейін өкпе фиброзының дамуы үшін қажет. Макрофагтардағы ОБФ-ның негізгі көзі өкпе фиброзы жағдайында макрофагтардың профиброзды фенотипке альтернативті белсендіруінде маңызды рөл атқаратын Th2 цитокиндері емес, митохондриялар мен H₂O₂ митохондриялық генерациясы болып табылады [62].

Қабыну цитокиндердің шығарылуы альвеолярлық макрофагтардан (AM), соның ішінде IL-1 β және TNF- α -дан болады. Макрофагтар жасуша бетіндегі рецепторлардың көптеген түрлерін экспрессиялайды. Олардың негізгі рөлі патогендерді (патогенмен байланысты молекулалық үлгілер, ПБМУ), патогендік бөлшектерді және апоптозды жасушаларды тану және ішке қабылдау болып табылады [63].

Өкпе фиброзының патогенезіне қатысатын кейбір маңызды цитокиндер мен өсу факторларына IL-1, TNF α , трансформацияланатын өсу факторы β (TGF- β), тромбоциттерден алынған өсу факторы (PDGF) және IL-8 жатады. Бұл агенттер жасушалық зақымдануды арттырады, фибробласттардың пролиферациясын және коллагеннің түзілуін белсендіреді. Альвеолярлы макрофагтар бұл ақуыздардың негізгі көзі болып саналса да, көптеген дәлелдер өкпе эпителийінің жасушалары да қатысатынын көрсетеді. Асбест өкпенің эпителий жасушаларын IL-8 шығаруға мәжбүрлейді, ал TNF α -ның әсер етуі, эпителий жасушаларын макрофагтардың қабыну ақуызы-1 α (MIP-1 α) шығаруға белсендіреді [64].

TNF α – асбестпен индукцияланған өкпе уыттылығына қатысатын негізгі цитокин. Асбестоз және идиопатиялық өкпе фиброзы кезінде альвеолярлы макрофагтар TNF α деңгейін жоғарылатады. Өкпенің эпителий жасушаларында, әсіресе идиопатиялық өкпе фиброзы бар гиперпластикалық II типті жасушаларда TNF α жоғары деңгейде болады. MIP-1 α альвеолярлық II типті жасушалардың мРНК деңгейін TNF α жоғарылатуы мүмкін және TNF α эпителий жасушаларына әсері арқылы өкпенің қабынуына ықпал етуі мүмкін деген болжам бар [65].

Зерттеулер мезотелиоманың пайда болуы мен өсуінде асбестпен туындаған қабынудың маңыздылығын көрсетті және HMGB1 және Nalp3 қабынуы бұл процестің негізгі бастамашылары ретінде анықталды. Асбест жасуша некрозын және HMGB1 шығарылуын тудырады, ол Nalp3 қабынуды белсендіреді, бұл процесс ОБФ өндірісі арқылы асбест әсерінен күшейеді. HMGB1 және Nalp3 қабыну реакцияларын тудырады және интерлейкин-1b және TNF-а секрециясына, сондай-ақ NF-kB белсенділігіне әкеледі, осылайша жасушалардың өміршеңдігіне және ісіктердің өсуіне ықпал етеді [66].

Асбест канцерогенезі қабыну жасушаларынан цитокиндер мен мутагенді ОБФ-ның бөлінуімен байланысты. Асбест адамның мезотелий жасушалары үшін цитотоксінді болыптабылады. Асбестпен индукцияланған жасуша өлімі канцерогенезге байланысты некроздың реттелетін түрі болып келеді. Асбесттің әсеріне ұшыраған жасушалар поли (АДФ-рибоза) полимеразаны белсендіреді, H₂O₂ бөледі, АУФ-ты қорын азайтады және ядродан цитоплазмаға және жасушадан тыс кеңістікке high-mobility group box 1 (HMGB1) ақуызын транслокациялайды. HMGB1 шығарылуы макрофагтарды TNF-α секрециясын туындатады, ол жасуша өлімінен қорғап созылмалы қабыну процесін бастайды. Асбест әсерінен HMGB1 ақуызы асбест шөгінділерінің айналасындағы мезотелийде, қабыну жасушаларының ядросында, цитоплазмасында және жасушадан тыс кеңістікте анықталды, TNF-α сол аймақтарда экспрессияланады. HMGB1 шығарылуы асбестпен байланысты аурулардың патогенезіндегі маңызды кезең болып табылады және жасуша өлімі, созылмалы қабыну, канцерогенез арасындағы механикалық байланысты қамтамасыз етеді [67].

Цитокиндер интерлейкин IL-6 және IL-8 ретінде анықталды, олар өкпенің қатерлі ісігі жасушаларына плейотропты реттеуші әсер етеді және арнайы өкпе фибробласттарында көп мөлшерде өндіріледі. Өкпе фибробласттарының асбестпен әрекеттесуі өкпе ісігі жасушаларының өсуі мен метастазына қолдау көрсетуі мүмкін [68].

Асбест белгілі канцероген болып табылады және оның әсері өкпенің қатерлі ісігіне әкеледі. CD44 деңгейлері асбестке созылмалы түрде ұшырағандарда айтарлықтай жоғары екені анықталды. Бұл өкпенің, Т-жасушаларының және В-жасушаларының қабынуына ықпал етеді. Асбест әсеріне ұшыраған, плевралық бляшкалар немесе плевраның қатерлі ісіктері бар перифериялық Т-жасушалары, CD4+ Т-жасушаларын ынталандырғаннан кейін, интерферон потенциалының айқын төмендеуін көрсетті. Жалпы алғанда, өкпедегі, сондай-ақ плевра қуысында асбестпен индукцияланған созылмалы қабыну талшықтары, Т- және В-жасушалары сияқты, иммундық жасушалар және макрофагтар, өкпенің мезотелий және эпителий жасушалары арасындағы өзара әрекеттесудегі өзгерістерге байланысты асбест тудыратын қатерлі ісіктің пайда болуына ықпал етуі мүмкін [69].

Иммундық жасушалардың асбестпен үздіксіз әсер етуі, ісікке қарсы иммунитеттің төмендеуіне және NKp46 белсендіруші рецепторының экспрессиясының төмендеуімен, цитотоксикалық Т-жасушаларының клональды кеңеюінің тежелуімен, сонымен қатар экспрессияның төмендеуімен, табиғи киллер-жасушалардың белсенділігінің төмендеуіне және химокиндік рецепторлардың CXCR3 және асбест әсеріне ұшыраған CD4+ Т- жасушаларында интерферон-γ түзілуіне әкеледі. Реттеуші Т-жасушалары

(Tregs) созылмалы асбест талшықтарының әсеріне ұшыраған еритін факторлардың, IL-10 және трансформациялық өсу факторының (TGF)- β секрециясын арттырады және жасушалық цикл мен жасушалық циклдің прогрессиясын реттейтін FoxO1 транскрипция факторын айтарлықтай төмендетеді. Асбестке ұшыраған адамдарда ісікке қарсы иммунитет Treg қызметі мен көлемінің өзгеруіне байланысты төмендеуі мүмкін [70]. Асбест әсерінен өкпе аурулары механизмдеріндегі митохондриялар рөлінің маңыздылығы әлі де аз зерттелген. Асбестпен байланысты мтДНҚ-ның өкпе ауруларының өршуіне әсерін зерттеу, асбест әсеріне ұшыраған өкпе ісігі жасушаларының көбеюі мен миграциясының жоғарылауын көрсетті.

6. Митохондрияның функционалдық белсенділігіндегі микроРНК-ның рөлі

МикроРНК (миРНК және /немесе miR) ұзындығы 18-25 нуклеотидтен тұратын қысқа кодталмаған РНК, олар барлық эукариоттық жасушаларда бар және барлық биологиялық сигнал беру жолдарында маңызды рөл атқарады. Олар посттранскрипциялық ген экспрессиясын хабаршы РНК-ның 3'UTR-мен байланысу арқылы реттейді [71]. Жақында микроРНК-ның митохондрияларда болатыны анықталды [72]. Бұл митохондриялық микроРНК-лар «митомиР» деп аталды.

митомиР-лер митохондрияда локализацияланған және митохондрияның қызметі мен метаболизмін реттеуде маңызды рөл атқаратын ядролық немесе митохондриядан шыққан микроРНК болып табылады. Митохондриялардың митомирлер арқылы реттелуі жүрек-қантaмыр және нейродегенеративті аурулар, қант диабеті, семіздік және митохондриялық дисфункциядан туындаған қатерлі ісік сияқты көптеген аурулардың патогенезіне әсер етеді. митомиР жүйелі энергия гомеостазын, тотығу қабілетін, ОБФ және митохондриялық липидтер алмасуын реттейтіні көрсетілген [73-75].

miR-1291, miR-138, miR-150, miR-199a және miR-532-5p сияқты микроРНК-лар митохондрияларда жинақталған кейбір маңызды гликолитикалық ферменттердің экспрессиясын өзгерте алатыны анықталды. miR-143 және miR-24 митохондриялық липидтер мен метаболизмді реттейтіні көрсетілген. Екінші жағынан, miR-204 ацетил-коэнзим А карбоксилазасын тежеу арқылы май қышқылының тотығуын тездетеді [76]. Ахмад және әріптестері [77] miR-200 гликолиз бен глюкогенездің маңызды факторы болып табылатын фосфоглюкоза изомеразасының реттелуімен байланысты екенін көрсетті. miR-338 шамадан тыс экспрессиясы цитохром с оксидаза IV протеинінің деңгейінің төмендеуіне әкеледі және митохондриялық оттегінің тұтынылуын және АҮФ өндірісін азайтады [78]. miR-181c шамадан тыс экспрессиясы mt-COX1 ақуыз деңгейін төмендетеді және митохондрияларда ОБФ өндірісінің артуына әкеледі. miR-15b, miR-16, miR-195 және miR-338 электронды тасымалдау тізбегінде маңызды рөл атқаратын бірнеше ядролық гендерге әсер ету арқылы АҮФ өндірісін реттейтінін көрсететін басылымдар бар [76,79].

Қатерлі ісік ауруының маңызды ерекшелігі Варбург эффектісінің болуы екені белгілі. Аэробты жағдайда қалыпты жасушалар АҮФ-ны ең алдымен гликолиз өнімдері мен Кребс циклі пайдаланатын митохондриялардың тотығу фосфорлану

процесі арқылы жасайды. Анаэробты жағдайда гликолиздің соңғы өнімі болып табылатын пируваттың салыстырмалы түрде аз мөлшері Кребс цикліне қосылады және оның орнына лактатқа айналады. Дегенмен, глюкозаның бұл метаболикалық трансформациясы энергетикалық зиянды болып шығады. Ісік жасушаларында АУФ тапшылығы гликолизді жоғарылату арқылы белгілі бір дәрежеде өтелуі мүмкін. Бір қызығы, көптеген қатерлі ісік жасушалары жеткілікті оттегі болған жағдайда да тотығу фосфорланудан гөрі гликолизді жақсы көреді. Бұл аномальды энергия алмасуы Варбург эффектісі ретінде белгілі. Тотығу фосфорланудың төмендеуі және аэробты гликолиздің жоғарылауы ісік жасушаларында глюкоза метаболизмін қайта бағдарламалаудың негізгі көрінісі болып табылады. Митохондриялардағы бұл метаболикалық ауысудың нақты себептері мен утилитарлық салдары әлі анық болмаса да, Варбургтың әсері, сөзсіз, канцерогенездің маңызды нәтижесі емес, бірақ рак жасушаларының пролиферативті әлеуетін сақтау үшін маңызды екендігі туралы жалпы келісім бар [80].

Митохондриядағы митомиРдің аномальды экспрессиясы қатерлі ісік белгілерімен байланысты екендігі расталды. Сонымен қатар, митомиРдің мРНК экспрессиясын реттеу арқылы рак жасушаларының метаболизмін бақылауда маңызды рөл атқарады. Олар бірнеше онкогендік сигналдық жолдарды реттейді және жасушалық метаболизмнің негізгі тасымалдаушыларын немесе ферменттерін бағыттайды. Сонымен қатар, олар ісік жасушаларының немесе онкогендердің пролиферациясын тежейтін ісіктерді басатын, ісіктің пайда болуын индукциялай алады. Томасетти және басқалары miR-126 митохондриялық энергия алмасуына әсер ететінін көрсетті, бұл мезотелиоманың ісіктерін басуға әкеледі [81].

Бұл бөлімді қорытындылай келе, әртүрлі микроРНК-лар митохондриялардың қызметтік белсенділігін реттеуде шешуші рөл атқаратынын атап өтуге болады [76,82]. Жасуша цитоплазмасында және митохондриялық матрицада митохондриялық ақуыздардың экспрессиясына қатысатын микроРНК-лар анықталды. ОБФ жасушалық тыныс алудың қалыпты өнімдері болып табылады және әрқашан жасушада болса да, олардың санының артуы, мысалы, митохондриялардың бұзылуына байланысты, жасуша органеллалары мен ДНК-ның зақымдалуына әкеледі. Сонымен қатар, ОБФ-ның белсенді өндірісі жасушалардың асбест сияқты сыртқы факторлардың әсерімен тығыз байланысты [12,13]. Радонмен индукцияланған өкпе обыры бар науқастарда және радон деңгейі жоғары аймақтарда тұратын сау донорларда ea-мтДНК деңгейлерінің жоғарылағаны көрсетілді [52]. Митохондриялар ОБФ генераторлары болғандықтан, олардың әрекеті үшін ең жақын мақсат мтДНК болып табылады.

Қорытынды

Митохондриялар ОБФ генерациясы және тотығу-тотықсыздануға тәуелді сигнал беру арқылы жалпы жасушалық метаболизмді басқара алады және жасушаның дифференциациясына, пролиферациясына, тіршілігіне және апоптозына әсер ететін

барлық жасуша физиологиясын реттейді. Митохондриялық қызмет жұмыс істейтін иммундық жасушалардың белсендірілуі мен энергия қажеттілігі үшін маңызды.

Митохондриялар жасушалық функцияларды, оттегін сезінуді және энергия өндіруді орындап ғана қоймайды, сонымен қатар, асбестпен байланысты респираторлық ауруларда, мысалы, асбестозда және басқа да созылмалы респираторлық ауруларда және өкпе ісігінде орталық рөл атқарады. Асбест талшықтары өкпенің эпителий жасушаларында және макрофагтарда митохондриялық ОБФ өндірісін тудырады. мтДНҚ митохондриялық ақуыздарды кодтайды және ОБФ-тәуелді өкпе ауруларындағы тотығу агенттеріне сезімтал келеді. мтДНҚ-ның зақымдалуы митохондриялық дисфункцияны, соның ішінде электронды тасымалдау тізбегінің бұзылуын және митохондриялық мембрана потенциалының жоғалуын тудырады. Сондай-ақ, зақымдалған мтДНҚ қабыну және иммундық реакцияларды ынталандырады. ОБФ-ның төмен деңгейлері сигнал беру жолдарын, жасушалардың тіршілігін және антиоксиданттық қорғанысты ынталандыру үшін өте маңызды, ал ОБФ-ның жоғары деңгейлері ДНҚ, ақуыз және липидтер сияқты биомолекулалардың тотығуына әкеледі.

Асбест әсерінен өкпе жасушаларында митохондриялық кристалардың ұзындығының айтарлықтай қысқаруы анықталып, кристалардың ісінуі мен бұзылуы орын алды, мұны асбест әсерінен кристалар диаметрінің морфометриялық көрсеткіштерінен байқауға болады. Тыныс алу жолдары ауруларының патофизиологиясында негізгі рөл атқаратын митохондриялық процестерді түсіну және зерттеу әртүрлі терапиялық жолдар үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Алғыс, мүдделер қақтығысы

Авторлар арасында мүдделер қақтығысы жоқ.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі (грант № AP09259700) қолдады.

Авторлардың үлестері

Берсимбай Р.І. – мәтінді жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қарау; жұмыс нәтижелерін жинау, талдау және түсіндіру; мақаланың соңғы нұсқасын жариялауға бекіту.

Айнагулова Г.С. – жұмыстың концепциясына немесе дизайнына елеулі үлес қосу; мәтінді жазу және жұмыс нәтижелерін жинау.

Әдебиеттер тізімі

1. Kuhilbrandt W. Structure and function of mitochondrial membrane protein complex // BMC Biology. – 2015. DOI: 10.1186/s12915-015-0201-x
2. Van der Laan M., Horvath S.E., Pfanner N. Mitochondrial contact site and cristae organizing system // Current Opinion in Cell Biology. – 2016. – P. 33-42

3. Mannella C.A. The relevance of mitochondrial membrane topology to mitochondrial function // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2006. – P.140-147
4. Osellame L.D., Blacker T.S., Duchon M.R. Cellular and molecular mechanisms of mitochondrial function // *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2012. – №26. – P. 711-723
5. Spinelli J.B., Haigis M.C. The multifaceted contributions of mitochondria to cellular metabolism // *Nat. Cell Biol.* – 2018. – №20. – P. 745-754
6. Daiber A. Redox signaling (cross-talk) from and to mitochondria involves mitochondrial pores and reactive oxygen species // *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Bioenerg.* – 2010. – P. 897-906
7. Kuznetsov A.V., Troppmair J., Sucher R., Hermann M., Saks V., Margreiter R. Mitochondrial subpopulations and heterogeneity revealed by confocal imaging: Possible physiological role? // *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Bioenerg.* – 2006. – P. 686-691
8. Collins T.J., Berridge M.J., Lipp P., Bootman M.D. Mitochondria are morphologically and functionally heterogeneous within cells. *EMBO J.* – 2002. – №21. – P. 1616-1627
9. Nickel A., Kohlhaas M., Maack C. Mitochondrial reactive oxygen species production and elimination // *J. Mol. Cell Cardiol.* – 2014. – №73. – P. 26-33
10. Ospina D., Vilegas V.E., Rodriguez-Leguzamon R., Endos-Lagos M. Analyzing biological and molecular characteristics and genomic damage induced by exposure to asbestos // *Cancer Management and Research.* – 2019. – №11. – P. 4997-5012
11. Musk A.W., Klerk N., Reid A., Hui J., Franklin P., Brims F. Asbestos-related diseases // *Int.J.Tuber.Lung Dis.* – 2020. – №24(6). – P. 562-566
12. Solbes E., Harper R.W. Biological responses to asbestos inhalation and pathogenesis of asbestos-related benign and malignant disease // *J Investig Med.* – 2018. – P. 1-7
13. Hubaux R., Becker-Santos D.D., Enfield K.S, Lam S., Lam W.L., Martinez V.D. Arsenic, asbestos and radon: emerging players in lung tumorigenesis // *Environ Health.* – 2012. – Vol. 11. – №89. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-89>
14. Pira E., Donato F., Maida L., Discalzi G. Exposure to asbestos: past, present and future // *J Thorac Dis.* – 2018. – №10 (Suppl 2). – P. S237-S245. DOI: <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.126>
15. Belackova L., Verbeek J.H., Hoving J.L., Molen H.F., Gagliardi D., Curti S., Hulshof C.T.J., Scheepers P.T.J., Marinaccio A. Legal banning of asbestos for preventing asbestos exposure // *Cochrane Database Syst Rev.* – 2022. – №2. CD015106. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858>
16. Yano E. Adverse health effects of asbestos: solving mysteries regarding asbestos carcinogenicity based on follow-up survey of a Chinese factory // *Environmental Health and Preventive Medicine.* – 2018. – Vol. 23. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0726-z>
17. Markowitz S. Asbestos-related lung cancer and malignant mesothelioma of the pleura: selected current issues // *Semin Respir Crit Care Med.* – 2015. – №36(3). – P. 334-346. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1549449>
18. Huang S.X., Jaurand M.C., Kamp D.W., Whysner J., Hei T.K. Role of mutagenicity in asbestos fiber induced carcinogenicity and other diseases // *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews.* – 2011. – №14(1-4). – P. 179-245
19. Liu G., Cheres P., Kamp D.W. Molecular basis of asbestos-induced lung disease // *Annu Rev Pathol.* – 2013. – №24(8). – P. 161-187. DOI: [10.1146/annurev-pathol-020712-163942](https://doi.org/10.1146/annurev-pathol-020712-163942)

20. Hodgson J.T., Darnton A. Mesotelioma risk from chrysotile // Occup Environment Med. – 2010. – №67(6). – P. 432
21. Musk A.W., Olsen N., Alfonso H., Peters S., Franklin P. Pattern of malignant mesothelioma incidence and occupational exposure to asbestos in Western Australia // Med.J.Austr. – 2015. – №2-3(6). – P. 251-2e.1
22. Gualtieri A.F. Journey to the centre of the lung. The perspective of a mineralogist on the carcinogenic effects of mineral fibres in the lungs // J. Hazard Mater. – 2023. – №442. – P. 30077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130077>
23. Liu X., Chen Z. The pathophysiological role of mitochondrial oxidative stress in lung diseases // J Transl Med. – 2017. – №15. – P. 207
24. Angelova P.R., Abramov A.Y. Functional role of mitochondrial reactive oxygen species in physiology // Free. Radic. Biol. Med. – 2016. – №100. – P. 81-85
25. Sies H., Jones D.P. Reactive Oxygen Species (ROS) as Pleiotropic Physiological Signalling Agents // Nat. Rev. Mol. Cell Biol. – 2020. №21. – P. 363-383
26. Kruk J., Aboul-Enein H.Y., Kładna A., Bowser J.E. Oxidative Stress in Biological Systems and Its Relation with Pathophysiological Functions: The Effect of Physical Activity on Cellular Redox Homeostasis // Free Radic. Res. – 2019. – №53. – P. 497-521
27. Yang S., Lian G. ROS and Diseases: Role in Metabolism and Energy Supply // Mol. Cell. Biochem. – 2020. – №467. – P. 1-12
28. Hernansanz-Agustín P., Enríquez J.A. Generation of Reactive Oxygen Species by Mitochondria // Antioxidants. – 2021. – №10. – P. 415
29. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health // Oxid. Med. Cell. Longev. – 2017. – №8416763
30. Kussainova A., Bulgakova O., Aripova A., Ibragimova M., Pulliero A., Begimbetova D., Bersimbaev R., Izzotti A. Molecular and Cellular Mechanism of Action of Chrysotile Asbestos in MRC5 Cell Line // J Pers Med. – 2023. – №13(11). – 1599. DOI: 10.3390/jpm13111599
31. Безрукавникова Л.М., Анохин Н.Н., Цидильковская Э.С. Ассоциация молекулярно-генетических маркеров и показателей оксидативного стресса у работающих в контакте с пылью асбеста // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59. – №9. – С. 560
32. Okado-Matsumoto A., Fridovich I. Subcellular distribution of superoxide dismutases (SOD) in rat liver: Cu,Zn-SOD in mitochondria // J. Biol. Chem. – 2001. – №276. – P. 38388-38393
33. Kira Y., Sato E.F., Inoue M. Association of Cu,Zn-type superoxide dismutase with mitochondria and peroxisomes // Arch. Biochem. Biophys. – 2002. – №399. – P. 96-102
34. Dröse S., Brandt U., Wittig I. Mitochondrial respiratory chain complexes as sources and targets of thiol-based redox-regulation // Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Proteins Proteom. – 2014. – №1844. – P. 1344-1354
35. Sauer H., Wartenberg M., Hescheler J. Reactive oxygen species as intracellular messengers during cell growth and differentiation // Cell Physiol. Biochem. – 2001. – № 11. – P. 173-186
36. Brookes P.S., Levonen A.L., Shiva S., Sarti P., Darley-Usmar V.M. Mitochondria: Regulators of signal transduction by reactive oxygen and nitrogen species // Free Radic. Biol. Med. – 2002. – №33. – P. 755-764

37. Peng L., Tie L., Kamp D.W., Lin Z., Wang Y., Li D., Yang L., He H., Liu G. The c-Jun N-terminal kinase signaling pathway mediates chrysotile asbestos-induced alveolar epithelial cell apoptosis // *Mol Med Rep.* – 2015. – №11(5). – P. 3626-3634. DOI: 10.3892/mmr.2014.3119
38. Jablonski R.P., Kim S-J., Cheresh P., Williams D.B., et al. SIRT3 deficiency promotes lung fibrosis by augmenting alveolar epithelial cell mitochondrial DNA damage and apoptosis // *Faseb J.* – 2017. – №31(6). – P. 2520-2532. DOI: 10.1096/fj.201601077R
39. Goldar S., Khaniani M.Sh., Derakhshan S.M., Baradaran B. Molecular Mechanisms of Apoptosis and Roles in Cancer Development and Treatment // *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention.* – 2015. – №16. – P. 2129-2144. DOI: <http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2015.16.6.2129>
40. Cheresh P., Kim S-J., Tulasiram S., Kamp D.W. Oxidative Stress and Pulmonary Fibrosis // *Biochim Biophys Acta.* – 2013. – №1832(7): – P. 1028-1040. DOI: 10.1016/j.bbadis.2012.11.021
41. Riley J.S., Quarato G., Cloix C., Lopez J. Mitochondrial inner membrane permeabilisation enables mtDNA release during apoptosis // *Embo J.* – 2018. – №37(17). – P. e99238. DOI: 10.15252/embj.201899238
42. Redza-Dutordoir M., Averill-Bates D.A. Activation of apoptosis signalling pathways by reactive oxygen species // *Biochim Biophys Acta.* – 2016. – №1863(12). – P. 2977-2992. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2016.09.012
43. Wang Ch., Youle R.J. The Role of Mitochondria in Apoptosis // *Annu. Rev. Genet.* – 2009. – №43. – P. 95-118. DOI: 10.1146/annurev-genet-102108-134850.
44. Luo Y., Ma J., Lu W. The Significance of Mitochondrial Dysfunction in Cancer // *Int J Mol Sci.* – 2020. – №21(16). – P. 5598. DOI: 10.3390/ijms21165598
45. Shukla A., Stern M., Lounsbury K.M., Flanders T., Mossman B.T. Asbestos-induced apoptosis is protein kinase C delta-dependent // *Am J Respir Cell Mol Biol.* – 2003. – №29(2). – P. 198-205. DOI: 10.1165/rcmb.2002-0248OC
46. Benedetti S., Nuvoli B., Catalani S., Galati R. Reactive oxygen species a double-edged sword for mesothelioma // *Oncotarget.* – 2015. – №6. – P. 16848-16865. DOI: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4253>
47. Kagan E. Asbestos-Induced Mesothelioma. *The American Journal of Pathology* // *The American Journal of Pathology.* – 2013. – Vol. 183. №5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajpath.2013.09.005>
48. Arandjelovic S., Ravichandran K.S. Phagocytosis of apoptotic cells in homeostasis // *Nat Immunol.* – 2015. – №16(9). – P. 907-17. DOI: 10.1038/ni.3253
49. Giampazolias E., Zunino B., Dhayade S. Mitochondrial permeabilization engages NF- κ B-dependent anti-tumour activity under caspase deficiency // *Nat Cell Biol.* – 2017. – №19(9). – P. 1116-1129. DOI: 10.1038/ncb3596
50. Behzadi P., Ranjbar R. Caspases and Apoptosis // *Molecular Enzymology and Drug Targets.* – 2015. – Vol. 1. №2. – P. 2. DOI: 10.21767/2572-5475.10006
51. Juan C.A., Pérez de la Lastra J.M., Plou F.J., Pérez-Lebeña E. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – №22. – P. 4642. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22094642>
52. Bulgakova O., Kussainova A., Kakabayev A., Aripova A., Baikenova G., Izzotti A., Bersimbaev R. The level of free-circulating mtDNA in patients with radon-induced lung cancer // *Environ Res.* – 2022. – №207. – P. 112215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112215>

53. Kido T., Morimoto Y., Asonuma E., Yatera K., Ogami A., Oyabu T., Tanaka I., Kido M. Chrysotile asbestos causes AEC apoptosis via the caspase activation in vitro and in vivo // *Inhalation Toxicology*. – 2008. – №20. – P. 339-347
54. Yang R., Zhao G., Liang Sh., Zhang Y., Sun L., Chen H., Liu D. Mitofilin regulates cytochrome c release during apoptosis by controlling mitochondrial cristae remodeling // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2012. – №428. – P. 93-98
55. Herrmann J.M. MINOS is plus: a mitofilin complex for mitochondrial membrane contacts // *Dev. Cell*. – 2011. – №21. – P. 599-600
56. Айнагулова Г., Рзаев Ф., Гасымов Ә., Берсимбай Р. Морфометрическая характеристика ультраструктуры митохондрий легких крыс после введения животным хризотил асбеста // *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Биологические науки*. – 2023. – №143(2). – С. 123-140
57. Zerbes R.M., Klei I.J., Veenhuis M., Pfanner N., Laan M., Bohnert M. Mitofilin complexes: conserved organizers of mitochondrial membrane architecture // *Biol. Chem.* – 2012. – №393(11). – P. 1247-1261
58. Zerbes R.M., Bohnert M., Stroud D.A., Malsburg K., Kram A., et al. Role of MINOS in mitochondrial membrane architecture: cristae morphology and outer membrane interactions differentially depend on mitofilin domains // *J. Mol. Biol.* – 2012. DOI: 10.1016/j.jmb.2012.05.004
59. Palmer C.S., Osellame L.D., Stojanovski D., Ryan M.T. The regulation of mitochondrial morphology: intricate mechanisms and dynamic machinery. *Cell. Signal.* – 2011. – Vol. 23. – P. 1534-1545
60. Matsuzaki H., Maeda M., Lee S., Nishimura Y., Kumagai-Takei N., et al. Asbestos-Induced Cellular and Molecular Alteration of Immunocompetent Cells and Their Relationship with Chronic Inflammation and Carcinogenesis // *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. – 2012. – №9. – P. 492608. DOI: 10.1155/2012/492608.6
61. Murthy Sh., Larson-Casey J.L., Ryan A.J., et al. Alternative activation of macrophages and pulmonary fibrosis are modulated by scavenger receptor, macrophage receptor with collagenous structure // *The FASEB Journal*. – 2015. – №29(8). – P. 3527-3536. DOI: 10.1096/fj.15-271304
62. Osborn-Heaford H.L., Murthy Sh., Gu L., Larson-Casey J.L., et al. Targeting the isoprenoid pathway to abrogate progression of pulmonary fibrosis // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2015. – №86. – P. 47-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.04.031>
63. Marrocco A., Ortiz L.A. Role of metabolic reprogramming in proinflammatory cytokine secretion from LPS or silica-activated macrophages // *Front. Immunol.* – 2022. – №13. – P. 936167. DOI: 10.3389/fimmu.2022.936167
64. Hillegass J.M., Miller J.M., MacPherson M.B., et al. Asbestos and erionite prime and activate the NLRP3 inflammasome that stimulates autocrine cytokine release in human mesothelial cells // *Particle and Fibre Toxicology*. – 2013. – №10. – P. 39
65. Ramund V., Zanirato G., Aldieri E. The Epithelial-to-Mesenchymal Transition (EMT) in the Development and Metastasis of Malignant Pleural Mesothelioma // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – №22. – P. 12216. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22212216>
66. Zolondick A.A., Gaudino G., Xue J., Pass H.I., Carbone M., Yang H. Asbestos-induced chronic inflammation in malignant pleural mesothelioma and related therapeutic approaches—a narrative review // *Precis Cancer Med.* – 2021. – №4. DOI: 10.21037/pcm-21-12

67. Yang H., Rivera Z., Jubea S., Nasua M., Bertino P., et al. Programmed necrosis induced by asbestos in human mesothelial cells causes high-mobility group box 1 protein release and resultant inflammation // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2010. – №107(28). – P. 12611-6. DOI: 10.1073/pnas.1006542107
68. Yu S., Choi H-H., Kim W., Kim T-J. Conditioned medium from asbestos-exposed fibroblasts affects proliferation and invasion of lung cancer cell lines // *PLoS One*. – 2019. – №14(9). – P. e0222160. DOI: 10.1371/journal.pone.0222160. eCollection 2019
69. Kumagai-Takei N., Yamamoto Sh., Lee S., Maeda M., Masuzaki H., et al. Inflammatory Alteration of Human T Cells Exposed Continuously to Asbestos // *Int. J. Mol. Sci.* – 2018. – №19. – P. 504. DOI: 10.3390/ijms19020504
70. Lee S., Matsuzaki H., Maeda M., Yamamoto Sh. Accelerated cell cycle progression of human regulatory T cell-like cell line caused by continuous exposure to asbestos fibers // *November International Journal of Oncology*. – 2016. – №50(1). DOI: 10.3892/ijo.2016.3776
71. Bartel D.P. MicroRNAs: Genomics, biogenesis, mechanism, and function // *Cell*. – 2004. – №116. – P. 281-297
72. Macgregor-Das A.M., Das S. A microRNA's journey to the center of the mitochondrion // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* – 2018. – №315. – P. H206-H215.
73. Duarte F.V., Palmeira C.M., Rolo A.P. The role of microRNAs in mitochondrion, small players acting wide // *Genes*. – 2014. – №5. – P. 865-886
74. Giuliani A., Cirilli I., Praticchizzo F. The mitomiR/Bcl-2 axis affects mitochondrial function and autophagic vacuole formation in senescent endothelial cells // *Aging*. – 2018. – №10. – P. 2855-2873
75. Das S., Bedja D., Campbell N. miR-181c regulates the mitochondrial genome, bioenergetics, and propensity for heart failure in vivo // *PLoS ONE*. – 2014. – №9. – P. e96820
76. Rencelj A., Gvozdenovic N., Cemazar M. MitomiRs: their roles in mitochondria and importance in cancer cell metabolism // *Radiol Oncol*. – 2021. – №55(4). – P. 379-392
77. Ahmad A., Aboukameel A., Kong D., Wang Z., Sethi S., Chen W., et al. Phosphoglucose isomerase/ autocrine motility factor mediates epithelial-mesenchymal transition regulated by miR-200 in breast cancer cells // *Cancer Res*. – 2011. – №71. – P. 3400-9. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-10-0965
78. Aschrafi A., Schwechter A.D., Mameza M.G., Natera-Naranji O., Gioio A.E., Kaplan B.B. MicroRNA-338 regulates local cytochrome c oxidase IV mRNA levels and oxidative phosphorylation in the axons of sympathetic neurons // *J Neurosci*. – 2008. – №28. – P. 12581-90. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3338-08.2008
79. Nishi H., Ono K., Iwanaga Y., Horie T., Nagao T., Takemura G., et al. MicroRNA15b modulates cellular ATP levels and degenerates mitochondria via Arl2 in neonatal rat cardiac myocytes // *J Biol Chem*. – 2010. – №285. – P. 4920-30. DOI: 10.1074/jbc.M109.082610
80. Courtney R., Ngo D.C., Malik N., Ververis K., Tortorella S.M., Karagiannis T.C. Cancer metabolism and the Warburg effect: the role of HIF-1 and PI3K // *Mol Biol Rep*. – 2015. – №42. – P. 841-51. DOI: 10.1007/s11033-015-3858-x
81. Tomasetti M., Neuzil J., Dong L. MicroRNAs as regulators of mitochondrial function: role in cancer suppression // *Biochim Biophys Acta*. – 2014. – №1840. – P. 1441-53. DOI: 10.1016/j.bbagen.2013.09.002
82. Kussainova A., Bulgakova O., Aripova A., Khalid Z., Bersimbaev R., Izotti A. The role of mitochondrial miRNAs in the development of radon-induced lung cancer // *Biomedicines*. – 2022. – №10. – P. 428. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines10020428>

Р.И. Берсимбаев, Г.С. Айнагулова

*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
Институт клеточной биологии и биотехнологии, Астана, Казахстан*

Роль митохондрий в клеточных механизмах заболеваний легких, вызванных воздействием асбеста

Аннотация. Митохондрии являются одними из основных источников активных форм кислорода (АФК), и поэтому они активно участвуют в регуляции клеточного окислительно-восстановительного процесса и передачи сигналов АФК. Митохондриальная дисфункция имеет решающую роль в биоэнергетическом метаболизме и патогенезе многих заболеваний легких. Процессы митохондриального окислительного фосфорилирования и их клеточные функции специфичны для разных клеток и тканей и могут быть гетерогенными даже внутри одной клетки из-за существования субпопуляций митохондрий с отчетливыми функциональными и структурными свойствами. Митохондриальные функции могут меняться в ответ на изменения клеточного метаболизма. Повреждение митохондриальной ДНК (мтДНК) вызывает митохондриальную дисфункцию, включая нарушение цепи переноса электронов и потерю потенциала митохондриальной мембраны. Кроме того, поврежденная мтДНК также действует как молекулярный паттерн, связанный с повреждением, который запускает воспалительные и иммунные реакции.

Асбест вызывает различные заболевания легких, клеточно-молекулярные механизмы которых до конца не изучены. Волокна асбеста могут индуцировать выработку митохондриальных АФК в эпителиальных клетках легких и макрофагах. В данной обзорной статье рассмотрены молекулярные механизмы функционирования митохондрий при воздействии асбеста, а также образование и повреждение мтДНК, активных форм кислорода, влияние асбеста на ультраструктурные изменения митохондрий легочной ткани, роль микроРНК в функциональной активности митохондрий.

Ключевые слова: асбест, митохондрий, АФК, заболевания легких, мтДНК, апоптоз, иммунноклеточный ответ, микроРНК, митомиР.

R.I. Bersimbaev, G.S. Ainagulova

*Eurasian National University named after L.N. Gumilyov
Institute of Cell Biology and Biotechnology, Astana, Kazakhstan*

The role of mitochondria in the cellular mechanisms of lung diseases caused by asbestos exposure

Abstract. Mitochondria are one of the main sources of reactive oxygen species (ROS) and therefore they are actively involved in the regulation of cellular redox processes and ROS signalling. Mitochondrial dysfunction plays a critical role in bioenergy metabolism and the pathogenesis of many lung diseases. The processes of mitochondrial oxidative phosphorylation and their cellular

functions are specific to different cells and tissues and can be heterogeneous even within a single cell due to the existence of subpopulations of mitochondria with distinct functional and structural properties. Mitochondrial function can change in response to changes in cellular metabolism. Damage to mitochondrial DNA (mtDNA) causes mitochondrial dysfunction, including disruption of the electron transport chain and loss of mitochondrial membrane potential. In addition, damaged mtDNA also acts as a damage-associated molecular pattern that triggers inflammatory and immune responses.

Asbestos causes various lung diseases, the cellular and molecular mechanisms of which are not fully understood. Asbestos fibers can induce the production of mitochondrial ROS in lung epithelial cells and macrophages. This review article examines the molecular mechanisms of mitochondrial functioning when exposed to asbestos, as well as the formation and damage of mtDNA, reactive oxygen species, the effect of asbestos on ultrastructural changes in lung tissue mitochondria, and the role of microRNA in the functional activity of mitochondria.

Keywords: asbestos, mitochondria, ROS, lung diseases, mtDNA, apoptosis, immune cell response, microRNA, mitomiR.

References

1. Kuhilbrandt W. Structure and function of mitochondrial membrane protein complex, *BMC Biology*, (2015). DOI: 10.1186/s12915-015-0201-x.
2. Van der Laan M., Horvath S.E., Pfanner N. Mitochondrial contact site and cristae organizing system, *Current Opinion in Cell Biology*, 33-42 (2016).
3. Mannella C.A. The relevance of mitochondrial membrane topology to mitochondrial function, *Biochim. Biophys. Acta.*, 140-147 (2006).
4. Osellame L.D., Blacker T.S., Duchon M.R. Cellular and molecular mechanisms of mitochondrial function, *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.*, 26, 711-723 (2012).
5. Spinelli J.B., Haigis M.C. The multifaceted contributions of mitochondria to cellular metabolism, *Nat. Cell Biol.*, 20, 745-7540 (2018).
6. Daiber A. Redox signaling (cross-talk) from and to mitochondria involves mitochondrial pores and reactive oxygen species, *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Bioenerg.*, 897-906 (2010).
7. Kuznetsov A.V., Troppmair J., Sucher R., Hermann M., Saks V., Margreiter R. Mitochondrial subpopulations and heterogeneity revealed by confocal imaging: Possible physiological role? *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Bioenerg.*, 686-691 (2006).
8. Collins T.J., Berridge M.J., Lipp P., Bootman M.D. Mitochondria are morphologically and functionally heterogeneous within cells. *EMBO J.*, 21, 1616-1627 (2002).
9. Nickel A., Kohlhaas M., Maack C. Mitochondrial reactive oxygen species production and elimination, *J. Mol. Cell Cardiol* (2014).
10. Ospina D., Vilegas V.E., Rodriguez-Leguzamon R., Endos-Lagos M. Analyzing biological and molecular characteristics and genomic damage induced by exposure to asbestos, *Cancer Management and Research*, 11, 4997-5012 (2019).
11. Musk A.W., Klerk N., Reid A., Hui J., Franklin P., Brims F. Asbestos-related diseases, *Int. J. Tuberc. Lung Dis*, 24(6), 562-566 (2020).

12. Solbes E., Harper R.W. Biological responses to asbestos inhalation and pathogenesis of asbestos-related benign and malignant disease, *J Investig Med*, 1-7 (2018).
13. Hubaux R., Becker-Santos D.D., Enfield K.S, Lam S., Lam W.L., Martinez V.D. Arsenic, asbestos and radon: emerging players in lung tumorigenesis, *Environ Health*, 11, 89 (2012). DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-89>.
14. Pira E., Donato F., Maida L., Discalzi G. Exposure to asbestos: past, present and future, *J Thorac Dis*, 10, S237-S245 (2018). DOI: <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.126>.
15. Belackova L., Verbeek J.H., Hoving J.L., Molen H.F., Gagliardi D., Curti S., Hulshof C.T.J., Scheepers P.T.J., Marinaccio A. Legal banning of asbestos for preventing asbestos exposure, *Cochrane Database Syst Rev*, 2 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858>.
16. Yano E. Adverse health effects of asbestos: solving mysteries regarding asbestos carcinogenicity based on follow-up survey of a Chinese factory, *Environmental Health and Preventive Medicine*, 23 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0726-z>.
17. Markowitz S. Asbestos-related lung cancer and malignant mesothelioma of the pleura: selected current issues, *Semin Respir Crit Care Med*, 36(3), 334-346 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1549449>.
18. Huang S.X., Jaurand M.C., Kamp D.W., Whysner J., Hei T.K. Role of mutagenicity in asbestos fiber induced carcinogenicity and other diseases, *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 14(1-4), 179-245 (2011).
19. Liu G., Cheresch P., Kamp D.W. Molecular basis of asbestos-induced lung disease, *Annu Rev Pathol*, 24(8), 161-187 (2013). DOI: [10.1146/annurev-pathol-020712-163942](https://doi.org/10.1146/annurev-pathol-020712-163942).
20. Hodgson J.T., Darnton A. Mesotelioma risk from chrysotile, *Occup Environment Med*, 67(6), 432 (2010).
21. Musk A.W., Olsen N., Alfonso H., Peters S., Franklin P. Pattern of malignant mesothelioma incidence and occupational exposure to asbestos in Western Australia, *Med.J.Austr*, 2-3(6), 251-2e.1 (2015).
22. Gualtieri A.F. Journey to the centre of the lung. The perspective of a mineralogist on the carcinogenic effects of mineral fibres in the lungs, *J. Hazard Mater*, 442, 30077 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130077>.
23. Liu X., Chen Z. The pathophysiological role of mitochondrial oxidative stress in lung diseases, *J Transl Med*, 15, 207 (2017).
24. Angelova P.R., Abramov A.Y. Functional role of mitochondrial reactive oxygen species in physiology, *Free. Radic. Biol. Med*, 100, 81-85 (2016).
25. Sies H., Jones D.P. Reactive Oxygen Species (ROS) as Pleiotropic Physiological Signalling Agents, *Nat. Rev. Mol. Cell Biol*, 21, 363-383 (2020).
26. Kruk J., Aboul-Enein H.Y., Kładna A., Bowser J.E. Oxidative Stress in Biological Systems and Its Relation with Pathophysiological Functions: The Effect of Physical Activity on Cellular Redox Homeostasis, *Free Radic. Res*, 53, 497-521 (2019).
27. Yang S., Lian G. ROS and Diseases: Role in Metabolism and Energy Supply, *Mol. Cell. Biochem*, 467, 1-12 (2020).
28. Hernansanz-Agustín P., Enríquez J.A. Generation of Reactive Oxygen Species by Mitochondria, *Antioxidants*, 10, 415, (2021).

29. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health, *Oxid. Med. Cell. Longev*, 8416763 (2017).
30. Kussainova A., Bulgakova O., Aripova A., Ibragimova M., Pulliero A., Begimbetova D., Bersimbaev R., Izzotti A. Molecular and Cellular Mechanism of Action of Chrysotile Asbestos in MRC5 Cell Line, *J Pers Med*, 13(11), 1599 (2023). DOI: 10.3390/jpm13111599.
31. Bezrukavnikova L.M., Anohin N.N., Cidil'kovskaya E.S. Associaciya molekulyarno-geneticheskikh markerov i pokazatelej oksidativnogo stressa u rabotayushchih v kontakte s pyl'yu asbesta, *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya [Association of molecular genetic markers and indicators of oxidative stress in workers exposed to asbestos dust, Occupational Medicine and Industrial Ecology]*, 59, 9, 560 (2019). [in Russian]
32. Okado-Matsumoto A., Fridovich I. Subcellular distribution of superoxide dismutases (SOD) in rat liver: Cu,Zn-SOD in mitochondria, *J. Biol. Chem*, 276, 38388-38393 (2001).
33. Kira Y., Sato E.F., Inoue M. Association of Cu,Zn-type superoxide dismutase with mitochondria and peroxisomes, *Arch. Biochem. Biophys*, 399, 96-102 (2002).
34. Dröse S., Brandt U., Wittig I. Mitochondrial respiratory chain complexes as sources and targets of thiol-based redox-regulation, *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-Proteins Proteom*, 1844, 1344-1354 (2014).
35. Sauer H., Wartenberg M., Hescheler J. Reactive oxygen species as intracellular messengers during cell growth and differentiation, *Cell Physiol. Biochem*, 11, 173-186 (2001).
36. Brookes P.S., Levonen A.L., Shiva S., Sarti P., Darley-Usmar V.M. Mitochondria: Regulators of signal transduction by reactive oxygen and nitrogen species, *Free Radic. Biol. Med*, 33, 755-764 (2002).
37. Peng L., Tie L., Kamp D.W., Lin Z., Wang Y., Li D., Yang L., He H., Liu G. The c-Jun N-terminal kinase signaling pathway mediates chrysotile asbestos-induced alveolar epithelial cell apoptosis, 11(5), 3626-3634 (2015). DOI: 10.3892/mmr.2014.3119.
38. Jablonski R.P., Kim S-J., Cheres P., Williams D.B., et al. SIRT3 deficiency promotes lung fibrosis by augmenting alveolar epithelial cell mitochondrial DNA damage and apoptosis, *Faseb J.*, 31(6), 2520-2532 (2017). DOI: 10.1096/fj.201601077R.
39. Goldar S., Khaniani M.Sh., Derakhshan S.M., Baradaran B. Molecular Mechanisms of Apoptosis and Roles in Cancer Development and Treatment, *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 16, 2129-2144 (2015). DOI: <http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2015.16.6.2129>.
40. Cheres P., Kim S-J., Tulasiram S., Kamp D.W. Oxidative Stress and Pulmonary Fibrosis, *Biochim Biophys Acta*, 1832(7), 1028-1040 (2013). DOI: 10.1016/j.bbadis.2012.11.021.
41. Riley J.S., Quarato G., Cloix C., Lopez J. Mitochondrial inner membrane permeabilisation enables mtDNA release during apoptosis, *Embo J.*, 37(17), e99238 (2018). DOI: 10.15252/embj.201899238.
42. Redza-Dutordoir M., Averill-Bates D.A. Activation of apoptosis signalling pathways by reactive oxygen species, *Biochim Biophys Acta*, 1863(12), 2977-2992 (2016). DOI: 10.1016/j.bbamcr.2016.09.012.
43. Wang Ch., Youle R.J. The Role of Mitochondria in Apoptosis, *Annu. Rev. Genet.*, 43, 95-118 (2009). DOI: 10.1146/annurev-genet-102108-134850.

44. Luo Y., Ma J., Lu W. The Significance of Mitochondrial Dysfunction in Cancer, *Int J Mol Sci*, 21(16), 5598, (2020). DOI: 10.3390/ijms21165598.
45. Shukla A., Stern M., Lounsbury K.M., Flanders T., Mossman B.T. Asbestos-induced apoptosis is protein kinase C delta-dependent, *Am J Respir Cell Mol Biol*, №29(2), 198-205 (2003). DOI: 10.1165/rcmb.2002-0248OC.
46. Benedetti S., Nuvoli B., Catalani S., Galati R. Reactive oxygen species a double-edged sword for mesothelioma, *Oncotarget*, 6, 16848-16865 (2015). DOI: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4253>.
47. Kagan E. Asbestos-Induced Mesothelioma. *The American Journal of Pathology, The American Journal of Pathology*, 183, 5 (2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajpath.2013.09.005>.
48. Arandjelovic S., Ravichandran K.S. Phagocytosis of apoptotic cells in homeostasis, *Nat Immunol*, 16(9), 907-17 (2015). DOI: 10.1038/ni.3253.
49. Giampazolias E., Zunino B., Dhayade S. Mitochondrial permeabilization engages NF- κ B-dependent anti-tumour activity under caspase deficiency, *Nat Cell Biol*, 19(9), 1116-1129 (2017). DOI: 10.1038/ncb3596.
50. Behzadi P., Ranjbar R. Caspases and Apoptosis, *Molecular Enzymology and Drug Targets*, 1, 2, 2 (2015). DOI: 10.21767/2572-5475.10006.
51. Juan C.A., Pérez de la Lastra J.M., Plou F.J., Pérez-Lebeña E. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies, *Int. J. Mol. Sci.*, 22, 4642 (2021). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22094642>.
52. Bulgakova O., Kussainova A., Kakabayev A., Aripova A., Baikenova G., Izzotti A., Bersimbaev R. The level of free-circulating mtDNA in patients with radon-induced lung cancer, *Environ Res.*, 207, 112215 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112215>.
53. Kido T., Morimoto Y., Asonuma E., Yatera K., Ogami A., Oyabu T., Tanaka I., Kido M. Chrysotile asbestos causes AEC apoptosis via the caspase activation in vitro and in vivo, *Inhalation Toxicology*, 20, 339-347 (2008).
54. Yang R., Zhao G., Liang Sh., Zhang Y., Sun L., Chen H., Liu D. Mitofilin regulates cytochrome c release during apoptosis by controlling mitochondrial cristae remodeling, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 428, 93-98 (2012).
55. Herrmann J.M. MINOS is plus: a mitofilin complex for mitochondrial membrane contacts, *Dev. Cell*, 21, 599-600 (2011).
56. Ajnagulova G., Rzaev F., Gasymov E., Bersimbaj R. Morfometricheskaya karakteristika ul'trastruktury mitohondrij legkih krys posle vvedeniya zhivotnym hrizotil asbesta, *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva, Seriya Biologicheskie nauki [Morphometric characteristics of the ultrastructure of mitochondria in the lungs of rats after the administration of chrysotile asbestos to animals, Bulletin of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Biological Sciences Series]*, 143(2), 123-140 (2023). [in Russian]
57. Zerbes R.M., Klei I.J., Veenhuis M., Pfanner N., Laan M., Bohnert M. Mitofilin complexes: conserved organizers of mitochondrial membrane architecture, *Biol. Chem.*, 393(11), 1247-1261 (2012).
58. Zerbes R.M., Bohnert M., Stroud D.A., Malsburg K., Kram A., et al. Role of MINOS in mitochondrial membrane architecture: cristae morphology and outer membrane interactions differentially depend on mitofilin domains, *J. Mol. Biol.* (2012). DOI: 10.1016/j.jmb.2012.05.004.

59. Palmer C.S., Osellame L.D., Stojanovski D., Ryan M.T. The regulation of mitochondrial morphology: intricate mechanisms and dynamic machinery, *Cell. Signal*, 23, 1534-1545 (2011).
60. Matsuzaki H., Maeda M., Lee S., Nishimura Y., Kumagai-Takei N., et al. Asbestos-Induced Cellular and Molecular Alteration of Immunocompetent Cells and Their Relationship with Chronic Inflammation and Carcinogenesis, *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 9, 492608 (2012). DOI: 10.1155/2012/492608.6
61. Murthy Sh., Larson-Casey J.L., Ryan A.J., et al. Alternative activation of macrophages and pulmonary fibrosis are modulated by scavenger receptor, macrophage receptor with collagenous structure, *The FASEB Journal*, 29(8), 3527-3536 (2015). DOI: 10.1096/fj.15-271304.
62. Osborn-Heaford H.L., Murthy Sh., Gu L., Larson-Casey J.L., et al. Targeting the isoprenoid pathway to abrogate progression of pulmonary fibrosis, *Free Radical Biology and Medicine*, 86, 47-56 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.04.031>.
63. Marrocco A., Ortiz L.A. Role of metabolic reprogramming in proinflammatory cytokine secretion from LPS or silica-activated macrophages, *Front. Immunol*, 13, 936167 (2022). DOI: 10.3389/fimmu.2022.936167.
64. Hillegass J.M., Miller J.M., MacPherson M.B., et al. Asbestos and erionite prime and activate the NLRP3 inflammasome that stimulates autocrine cytokine release in human mesothelial cells, *Particle and Fibre Toxicology*, 10, 39, (2013).
65. Ramund V., Zanirato G., Aldieri E. The Epithelial-to-Mesenchymal Transition (EMT) in the Development and Metastasis of Malignant Pleural Mesothelioma, *Int. J. Mol. Sci.*, 22, 12216 (2021). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222212216>.
66. Zolondick A.A., Gaudino G., Xue J., Pass H.I., Carbone M., Yang H. Asbestos-induced chronic inflammation in malignant pleural mesothelioma and related therapeutic approaches-a narrative review, *Precis Cancer Med*, 4, (2021). DOI: 10.21037/pcm-21-12.
67. Yang H., Rivera Z., Jubea S., Nasua M., Bertino P., et al. Programmed necrosis induced by asbestos in human mesothelial cells causes high-mobility group box 1 protein release and resultant inflammation, *Proc Natl Acad Sci USA*, 107(28), 12611-6 (2010). DOI: 10.1073/pnas.1006542107.
68. Yu S., Choi H-H., Kim W., Kim T-J. Conditioned medium from asbestos-exposed fibroblasts affects proliferation and invasion of lung cancer cell lines, *PLoS One*, 14(9), e0222160 (2019). DOI: 10.1371/journal.pone.0222160. eCollection 2019.
69. Kumagai-Takei N., Yamamoto Sh., Lee S., Maeda M., Masuzaki H., et al. Inflammatory Alteration of Human T Cells Exposed Continuously to Asbestos, *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 504 (2018). DOI: 10.3390/ijms19020504.
70. Lee S., Matsuzaki H., Maeda M., Yamamoto Sh. Accelerated cell cycle progression of human regulatory T cell-like cell line caused by continuous exposure to asbestos fibers, *November International Journal of Oncology*, №50(1) (2016). DOI: 10.3892/ijo.2016.3776.
71. Bartel D.P. MicroRNAs: Genomics, biogenesis, mechanism, and function, *Cell*, 116, 281-297 (2004).
72. Macgregor-Das A.M., Das S. A microRNA's journey to the center of the mitochondrion, *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 315, P. H206-H215 (2018).
73. Duarte F.V., Palmeira C.M., Rolo A.P. The role of microRNAs in mitochondrion, small players acting wide, *Genes*, 5, 865-886 (2014).

74. Giuliani A., Cirilli I., Praticchizzo F. The mitomiR/Bcl-2 axis affects mitochondrial function and autophagic vacuole formation in senescent endothelial cells, *Aging*, 10, 2855-2873 (2018).
75. Das S., Bedja D., Campbell N. miR-181c regulates the mitochondrial genome, bioenergetics, and propensity for heart failure in vivo, *PLoS ONE*, 9, e96820 (2014).
76. Rencelj A., Gvozdenovic N., Cemazar M. MitomiRs: their roles in mitochondria and importance in cancer cell metabolism, *Radiol Oncol*, 55(4), 379-392 (2021).
77. Ahmad A., Aboukameel A., Kong D., Wang Z., Sethi S., Chen W., et al. Phosphoglucose isomerase/autocrine motility factor mediates epithelial-mesenchymal transition regulated by miR-200 in breast cancer cells, *Cancer Res.*, 71, 3400-9 (2011). DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-10-0965.
78. Aschrafi A., Schwechter A.D., Mameza M.G., Natera-Naranji O., Gioio A.E., Kaplan B.B. MicroRNA-338 regulates local cytochrome c oxidase IV mRNA levels and oxidative phosphorylation in the axons of sympathetic neurons, *J Neurosci*, 28, 12581-90 (2008). DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3338-08.2008.
79. Nishi H., Ono K., Iwanaga Y., Horie T., Nagao T., Takemura G., et al. MicroRNA15b modulates cellular ATP levels and degenerates mitochondria via Arl2 in neonatal rat cardiac myocytes, *J Biol Chem.*, 285, 4920-30 (2010). DOI: 10.1074/jbc.M109.082610.
80. Courtney R., Ngo D.C., Malik N., Ververis K., Tortorella S.M., Karagiannis T.C. Cancer metabolism and the Warburg effect: the role of HIF-1 and PI3K, *Mol Biol Rep.*, 42, 841-51 (2015). DOI: 10.1007/s11033-015-3858-x.
81. Tomasetti M., Neuzil J., Dong L. MicroRNAs as regulators of mitochondrial function: role in cancer suppression, *Biochim Biophys Acta*, 1840, 1441-53 (2014). DOI: 10.1016/j.bbagen.2013.09.002.
82. Kussainova A., Bulgakova O., Aripova A., Khalid Z., Bersimbaev R., Izotti A. The role of mitochondrial miRNAs in the development of radon-induced lung cancer, *Biomedicines*, 10, 428 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines10020428>.

Авторлар туралы мәліметтер:

Берсимбаев Р.И. – Жасушалық биология және биотехнология институтының директоры, ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д., Жалпы биология және геномика кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Айнагулова Г.С. – Жалпы биология және геномика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Bersimbaev R.I. – Director of the Institute of Cell Biology and Biotechnology, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University named, 13 Kazhimukan Street, Astana, Kazakhstan.

Ainagulova G.S. – Senior Lecturer at the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhimukan Street, Astana, Kazakhstan.



IRSTI 34.15.15, 31.21.15, 31.25.15

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-188-204>

Scientific article

The Potential of AlphaFold2-Predicted Adenosine Receptor Structures in Drug Discovery and Molecular Modeling

M. Satkanov*^{ORCID}, E. Chupakhin^{ORCID}

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

*Corresponding author: satkanov.mereke@gmail.com

Abstract. Adenosine receptors (ARs) have garnered attention as valuable targets in drug discovery due to their widespread expression across various tissues and their unique, tissue-specific roles. These receptors regulate numerous physiological processes, and drugs that selectively target ARs hold great therapeutic potential. Although several AR structures have been experimentally resolved and are available in structural databases like the Protein Data Bank (PDB), some receptor forms remain structurally undetermined. This gap limits the comprehensive molecular modeling needed to explore receptor-ligand interactions and accurately predict the potential therapeutic effects of candidate ligands. Recognizing the therapeutic promise of targeting adenosine receptors, we explored the feasibility of using AlphaFold2-predicted structures in drug design. Specifically, we examined the structure of the active A_{2B} AR predicted by AlphaFold2 and compared it with its experimentally determined PDB counterpart. Our analysis revealed a high degree of similarity, with a TM-score of 0.96 and a root mean square deviation (RMSD) of 1.48 Å, underscoring the viability of AlphaFold2 models for molecular docking and drug discovery applications. In addition, we performed comparative analyses of the active and inactive forms of A_{2B} and A₃ receptors and their associations with G-proteins. This assessment provided further insights into receptor functionality and structural dynamics, enhancing our understanding of their structure-activity relationships. Our findings support AlphaFold2 as a valuable tool in structural biology, especially for drug discovery targeting ARs, some experimental structures of which are unavailable. This approach holds promise for expanding *in silico* modeling possibilities, aiding in the development of specific and effective therapeutics.

Key words: protein structure prediction, TM-align, structural biology, structural analysis, drug discovery.

Introduction

The A_{2B} adenosine receptor (AR) was initially identified and cloned in 1992 by Rivkees and Reppert from rat hypothalamus and Pierce et al. from human hippocampus tissue [1, 2]. The receptor's structure was classified as a typical G protein-coupled receptor (GPCR) with a molecular mass of approximately 36-37 kDa, and the subsequent studies confirmed its GPCR classification [3]. Despite being identified decades ago no high-resolution structure of A_{2B} AR has yet been obtained through X-ray crystallography [1, 2]. The only available experimentally determined structure to date is depicted in Figure 1 (published in the PDB on January 18, 2023, accession code 8HDO) and was determined using cryo-electron microscopy (cryo-EM), a less precise technique [4].

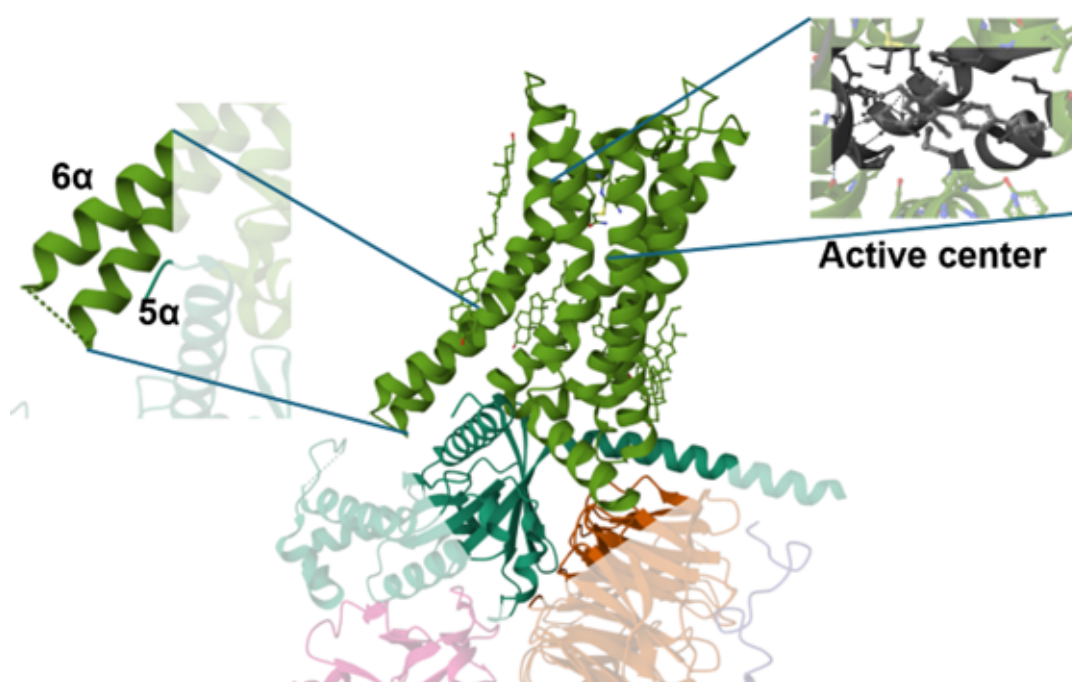


Figure 1. The structure of the active A_{2B} adenosine receptor (PDB accession code 8HDO) [4]. The structure of the A_{2B} chains is shown in green, and the structures of the G proteins are shown in other colors

Functionally, the A_{2B} AR primarily signals through the adenylate cyclase (AC) pathway, leading to elevated levels of intracellular cyclic adenosine monophosphate (cAMP) and activation of protein kinase A (PKA) and other cAMP-dependent effectors, such as the exchange protein Epac [5]. Additionally, A_{2B} AR can signal via the Gq-phospholipase C (PLC) pathway, which is connected to mitogen-activated protein kinase (MAPK) and arachidonic acid pathways. These pathways may regulate membrane ion channels via the βγ subunits of the G protein.

A_{2B} AR is widely expressed in various cell types, including type II alveolar epithelial cells, endothelial cells, chromaffin cells, astrocytes, neurons, taste cells, and immune

cells such as mast cells, neutrophils, dendritic cells, macrophages, and lymphocytes [5]. Environmental factors like inflammation, cellular stress, injury, and hypoxia can modulate A_{2B} AR expression. For instance, interferon- γ increases A_{2B} AR transcription in mouse macrophages, TNF- α upregulates A_{2B} AR mRNA and protein in human colonic epithelial cells, and other mediators like IL-1 β , reactive oxygen species, and endogenous adenosine further enhance its expression [6-10].

Despite the significant role of A_{2B} AR in cellular signaling pathways, the lack of high-resolution structural data poses challenges to fully understanding its activation mechanisms and interaction with potential drug candidates. While cryo-EM has provided a glimpse into the active state of A_{2B} AR, shown in Figure 1, the inactive form remains experimentally unresolved, limiting our ability to study both forms in parallel [4]. Structural insights into both states are essential, as they reveal critical details about receptor function and ligand binding, which are key for drug development. To address these gaps, recent advances in computational modeling, particularly through AlphaFold2, have enabled the prediction of both active and inactive protein structures, offering a new avenue for exploring GPCR conformations (https://gpccrdb.org/structure/homology_models) [11]. The AlphaFold2-MultiState model, which includes A_{2B} AR, now provides accessible predicted models for numerous human GPCRs, offering valuable insights for research and drug design [12,13].

Another important GPCR without an experimentally resolved structure is the A_3 AR. This protein consists of 318 amino acids and features a GPCR architecture [14]. The A_3 AR's C-terminal domain has multiple serine and threonine residues, which may act as phosphorylation sites and contribute to receptor desensitization following agonist binding [15]. A_3 AR shows high expression in liver, lung, and immune cells, with lower levels detected in the heart and brain [16, 17]. This receptor has attracted attention as a potential therapeutic target in inflammation, cancer, and cardioprotection [15]. Adenosine-based A_3 AR agonists have shown efficacy as antinociceptive agents in preclinical pain models and are under clinical trials for treating rheumatoid arthritis, psoriasis, and hepatocellular carcinoma [18, 19]. Additionally, heterocyclic-based A_3 AR antagonists are being studied for use in glaucoma and inflammatory airway diseases like asthma [20-22].

Understanding protein structures is fundamental in drug discovery, as it reveals critical details about how proteins interact with potential drug molecules. For GPCRs like the adenosine receptors, structural information is especially important, given their role in numerous signaling pathways related to various diseases. Detailed structural data enable researchers to analyze the binding sites, activation mechanisms, and potential conformational changes of these receptors, which are essential for designing effective and selective drugs. The A_3 AR, despite its therapeutic potential, lacks experimentally resolved structures in both active and inactive states. Without this data, it remains challenging to determine precisely how this receptor could be targeted with new drugs. However, computational tools such as AlphaFold2 have helped fill this gap by predicting the active and inactive forms of A_3 AR, providing an initial model for study [23, 24]. Yet, because these structures have not been experimentally verified, their reliability for drug design remains uncertain.

An interesting approach to assessing the usability of these predicted structures is through the structural homology shared among adenosine receptors. Given that A_{2B} AR and A₃ AR share significant sequence and structural similarities, insights from A_{2B} AR structures may support and validate the use of A₃ AR models. This homology allows researchers to make cautious inferences about A₃ AR's predicted structure and its potential for ligand binding, aiding in the initial stages of drug discovery even for receptors without high-resolution data. This study aims to evaluate adenosine receptor structures predicted by AlphaFold2 alongside experimentally derived cryo-EM structures, determining their utility in drug design. Such an approach is particularly valuable for receptors like A₃ AR, where the identification of new ligands is hindered by a lack of structural data. By focusing on A_{2B} and A₃ AR, both of which hold significant promise for treating conditions such as inflammatory diseases and cancer, this study seeks to advance our understanding of using predicted structures as reliable models for drug discovery.

Material and Methods

Protein Structure Prediction with AlphaFold2

AlphaFold2, an AI-based algorithm, predicts protein structures from amino acid sequences with high precision [25, 26]. Its potential applications extend across various fields, including medicine, biology, and pharmaceuticals, facilitating more effective study of protein interactions and expediting new drug discovery [27]. Using deep learning techniques, AlphaFold2 generates initial protein folds and refines atomic-level structures. For prediction, it employs a multi-stage convolutional neural network to analyze amino acid sequences, predicting atomic pair distances and optimizing structural configurations based on energy constraints. The study used protein structures predicted by AlphaFold2-MultiState (https://gpccrdb.org/structure/homology_models) [11-14, 23, 24].

3D Structure Comparison and TM-Score Analysis

To assess and compare 3D protein structures, computational tools based on alignment algorithms, like DaliLite, VAST, and FATCAT, are commonly used [28]. These tools employ structural comparison algorithms that measure the similarity or difference between two protein structures. One key metric is the TM-score (Template Modeling score), calculated based on atomic contact analysis and enables structural alignment and similarity scoring [28]. For structural comparison, 3D protein models were sourced from the GPCRdb and RCSB PDB databases. Comparative structural analysis was performed using the TM-align tool (<http://zhanglab.ccmb.med.umich.edu/TM-align/>), which outputs TM-scores indicating structural similarity (0 to 1, where 1 implies identical structures). A TM-score below 0.5 typically suggests structural divergence. RMSD values were also provided, quantifying atomic deviations between structures, with lower RMSD indicating greater structural similarity [28].

Visualization of Structural Comparisons

To visualize and analyze 3D protein alignments, PyMOL software was utilized. This approach allowed the inspection of structural regions with key similarities and differences, facilitating an understanding of protein conformational variations in potential drug-target interactions.

Results and discussions

Comparative analysis of A_{2B} AR structures obtained by Cryo-EM and AlphaFold

For analysis, we used TM-align (version 20190822) with a statistical algorithm to align and compare protein structures: $0.0 < \text{TM-score} < 0.30$ indicated random structural similarities; $0.5 < \text{TM-score} < 1.00$ indicated a high degree of similarity. The length of the reference A_{2B} structure obtained by cryo-EM was 280 residues, while the structure predicted by AlphaFold2 had 332 amino acid residues. The discrepancy in the amino acid residue count between the protein structures can be attributed to the inherent limitations of cryo-EM, which often exhibits poor resolution, potentially leading to the incomplete or absent visualization of certain structural elements. The alignment of the AlphaFold2-generated structure to the Cryo-EM structure was conducted. The structures were found to be almost identical, with a TM-score of 0.96143, indicating a similarity of 96% (Figure 2).

Visual analysis of the alignment revealed that the primary discrepancies are observed in the linkers that connect the α -helices. Figure 2 provides a clear visual representation of the structural differences between the AlphaFold2-predicted and experimental structures. Particularly, the AlphaFold2-predicted structure has a longer linker between the 4 α and 5 α helices compared to the experimental structure. Furthermore, analogous discrepancies are observed between the 5 α and 6 α , as well as the 6 α and 7 α structures. We attribute this discrepancy to the low resolution of Cryo-EM. More significant differences are observed in the intracellular helix 8 α located in the C-terminal zone. This is attributed to the combination of the low resolution of Cryo-EM and the capabilities of AlphaFold2 in predicting protein structures. Nevertheless, visual analysis of the alignment demonstrated that the binding pocket in the two proteins is identical, as illustrated by the ligand bound to the reference structure. The ligand in question is adenosine, which has been demonstrated to function as a natural agonist of AR in several studies [3, 18, 29-31].

Furthermore, in order to ascertain whether there is a similarity or a difference between the two structures, we employed the parameter RMSD (Root Mean Square Deviation), which is a measure of the deviation between the corresponding atoms of the two structures. A smaller RMSD value indicates greater structural similarity. In the majority of cases, the RMSD is expressed in angstroms (Å). A comparison of the Cryo-EM-derived and AlphaFold2-predicted structures of A_{2B} revealed an RMSD value of 1.48, thereby confirming the similarity of the structures. Furthermore, the sequence identity was evaluated, resulting in a value of 0.989 (on a scale from 0 to 1, where 1 means 100% similarity). Therefore, we

demonstrated that the structures predicted by AlphaFold2 can be utilized further *in silico* experiments.

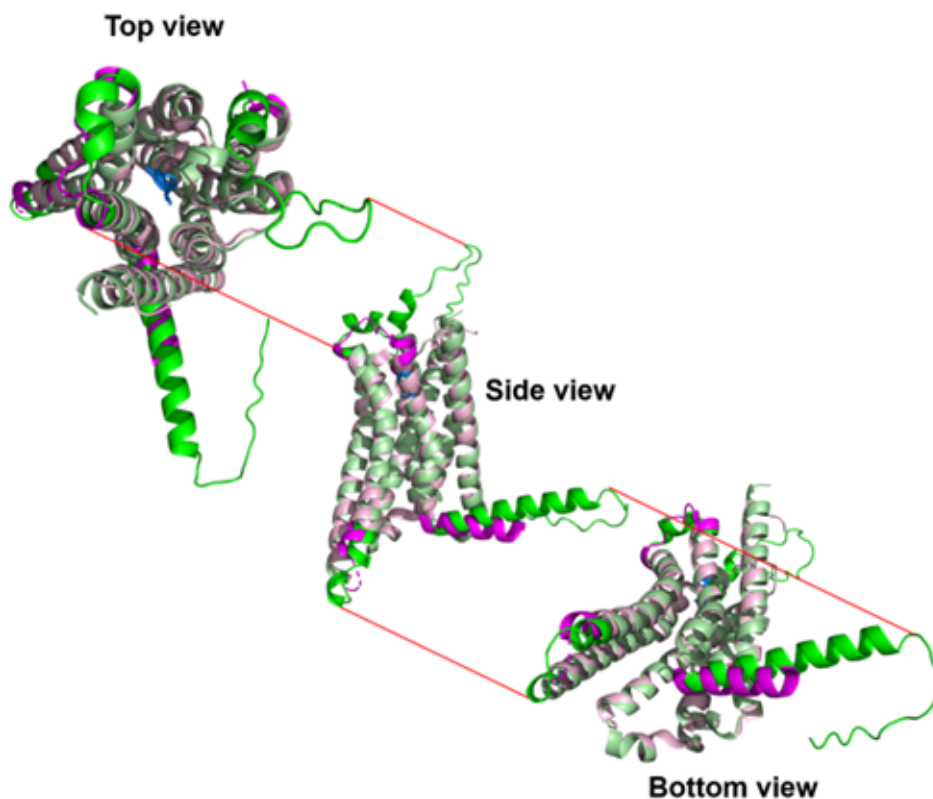


Figure 2. Visualization of structural comparisons between the active A_{2B} AR obtained by Cryo-EM (purple) with the ligand adenosine (blue) and the predicted active A_{2B} AR structure AlphaFold2 (green). The intensity of the color shows the sites that differ between the two. The following views are provided for illustrative purposes: top view (extracellular region), side view (extracellular, intracellular, and transmembrane regions), bottom view (intracellular region)

To gain insight into the distinctions between active and inactive forms of adenosine receptors, we compared AlphaFold2-predicted active and inactive conformations of ARs. The TM-score of the aligned active and inactive conformations of A_{2B} AR yielded a value of 0.85, corresponding to 85% similarity. The RMSD was 2.91, and the sequence identity was 0.975, indicating that the structures are similar but nevertheless exhibit differences. The results of visual analysis with alignment showed that upon activation of A_{2B} AR, the part of the 1 α chain directed to the extracellular space (N-terminal region) changes its location. This change is visualized in Figure 3. Possibly, after binding to the ligand, the protein conformation begins to change precisely from this chain. The active center begins to narrow, which leads to conformational changes in other α chains. A change in the location of 5 α and 6 α chains is also clearly visible. This change occurs on the side directed toward the intracellular space. In this case, the shift during activation occurs away from the central axis.

This change is necessary for dissociating from the Gs protein and activating the intracellular signal (this has already been shown for A_{2A} proteins) [32].

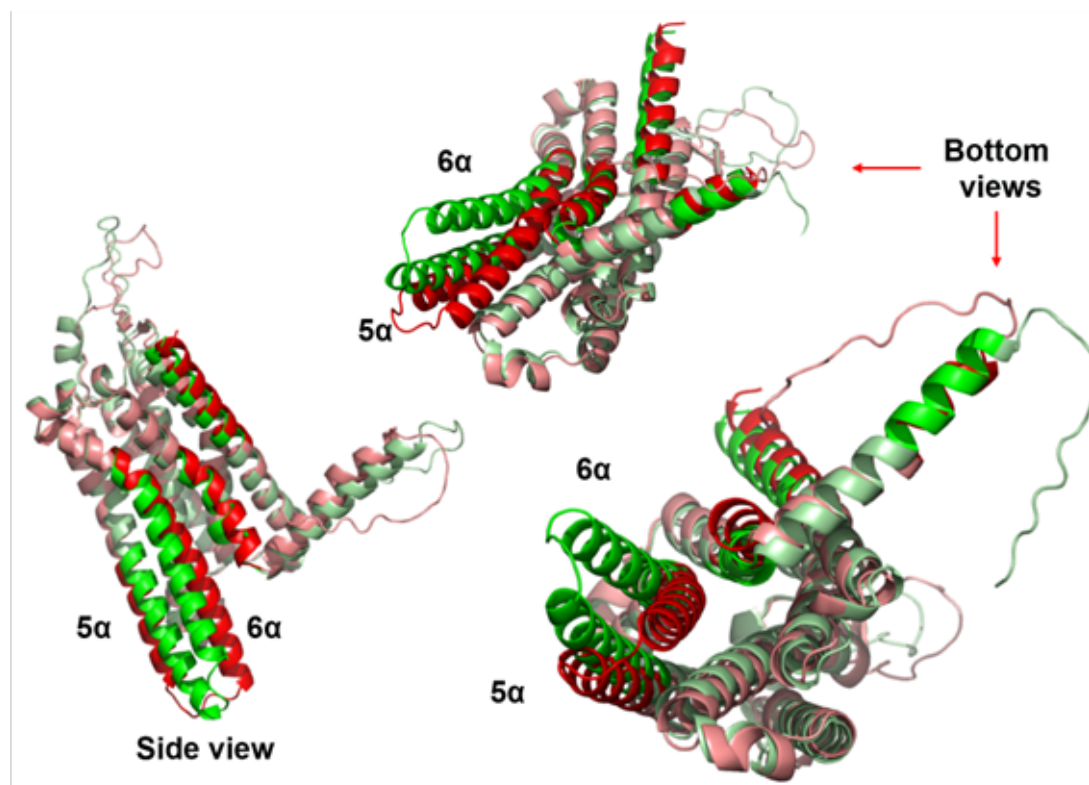


Figure 3. Visualization of the alignment of active (green) and inactive (red) A_{2B} AR predicted by AlphaFold2. The intensity of the color shows the sites that differ between the two. The following views are provided for illustrative purposes: side view (extracellular, intracellular, and intramembrane regions), bottom view (intracellular regions)

Furthermore, a structural analysis was conducted to examine the binding of both the active and inactive conformations of A_{2B} to G-proteins. The visual representation of the relationship between receptor activation and association with Gs-protein is illustrated in Figure 4. The structural analysis images were generated in the PyMOL program by comparing the active and inactive A_{2B} structures, predicted by AlphaFold2, with the Cryo-EM-derived structure of the A_{2B} receptor bound to the Gs-protein. There is a minimal distinction between the 6α and 7α chains. It seems reasonable to posit that this change is necessary for the movement of the 8α chain, which is located in the interior of the cell. The 8α chain orientation affects modifications of the intracellular regions such as phosphorylation and ubiquitination after signal transduction by the Gs-protein [33].

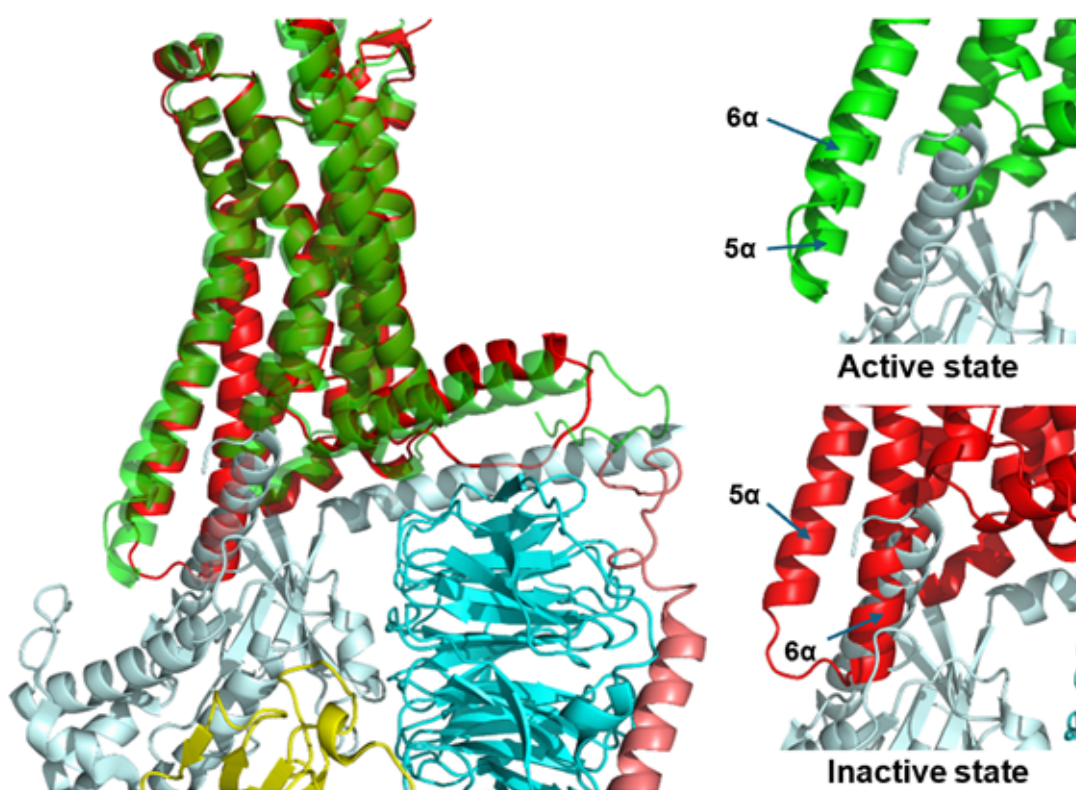


Figure 4. Changes in the arrangement of the 5 α and 6 α chains in the active (green) and inactive states of the A_{2B} AR (red) predicted AlphaFold2 with visualization of the G α protein binding site (blue)

AlphaFold-predicted A₃ AR conformational features

After assessing the similarity of the AlphaFold-predicted structure of the A_{2B} AR with the experimentally obtained structure of this receptor, an analysis was performed to determine the structural features of the AlphaFold-predicted A₃ AR in active and inactive conformations (Figure 5). TM-score of the aligned active and inactive conformations of A₃ AR showed a value of 0.92, which corresponds to 92% similarity. RMSD was 2.23, and sequence identity shows a value of 1.0, this indicates that the structures are similar but have large differences.

However, compared to A_{2B} in the active and inactive state (Figure 3), A₃ has fewer conformational changes (Figure 5). Visual analysis of the active and inactive A₃ receptor structures revealed similar changes, as those in the A_{2B} receptor. A similar change in the 1 α chain is also observed in A₃. It is plausible that during receptor activation, the activation signal is transmitted starting from a change in the conformation of the 1 α chain. Then, the 5 α and 6 α chains directed toward the intracellular space undergo a structure change, responsible for signal transmission through the G protein.

Similar changes are also shown in the transition from the 6 α to the 7 α and the 8 α chain. These changes are necessary for further utilization of the receptor. However, in the A₃ active

structure, the changes in the 5 α and 6 α chains are less significant compared to the active A_{2B}. We explain this by the fact that A₃ binds not to the Gs protein, which affects the activation of AC, but to the Gi protein, which is responsible for inhibiting this membrane enzyme.

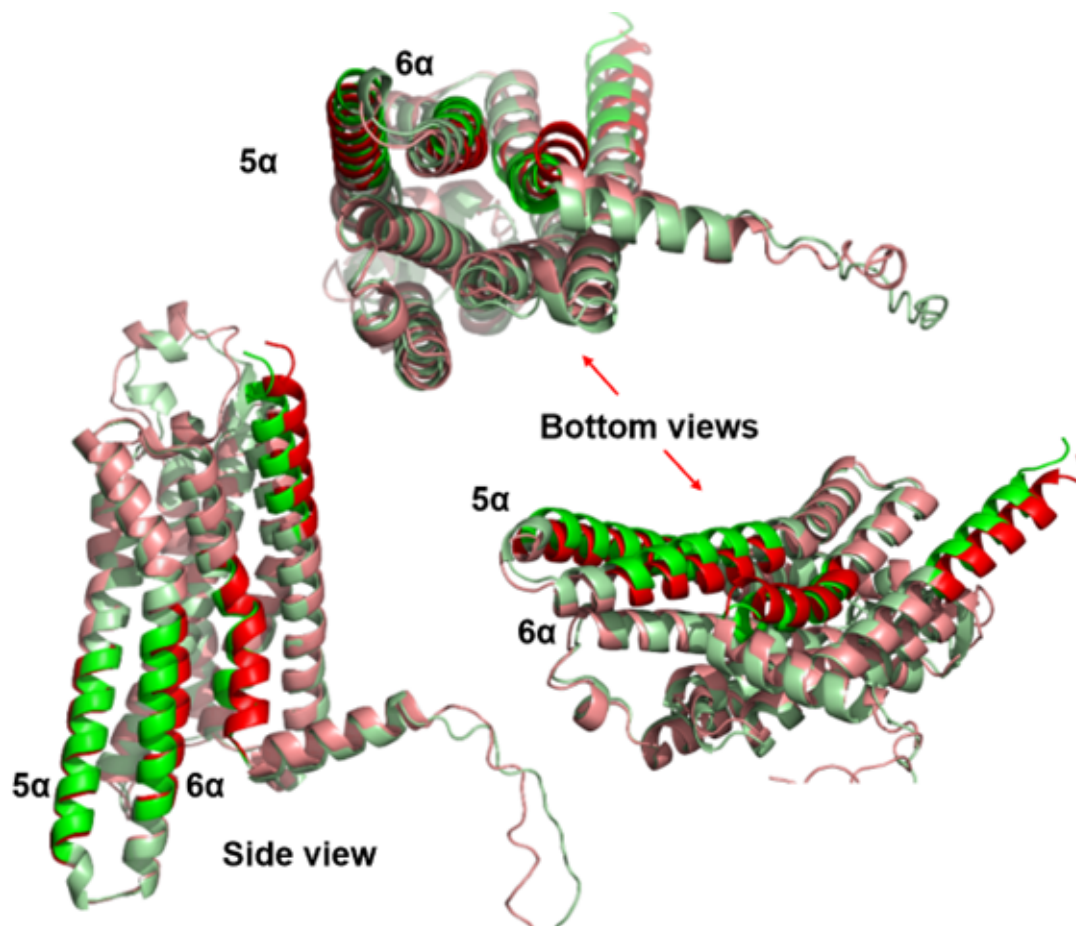


Figure 5. Visualization of the alignment of active (green) and inactive (red) A₃ AR predicted by AlphaFold2. The intensity of the color shows the sites that differ between the two. The following views are provided for illustrative purposes: side view (extracellular, intracellular, and intramembrane regions), bottom view (intracellular regions)

When attempting to conduct a structural analysis of the A₃ binding to the G protein, we encountered the previously described problem - no experimental structures of the A₃ adenosine receptor are available. The solution in this case was to test the interaction of A₃ AR with the Cryo-EM-derived structure of the Gi protein bound to A₁ AR [22,34]. Visualization of A_{2B} with the Gi protein of the A1 adenosine receptor is shown in Figure 6. As shown, for the activation of the Gi protein, fewer changes in the 5 α and 6 α chains are required compared to the activation of the Gs protein.

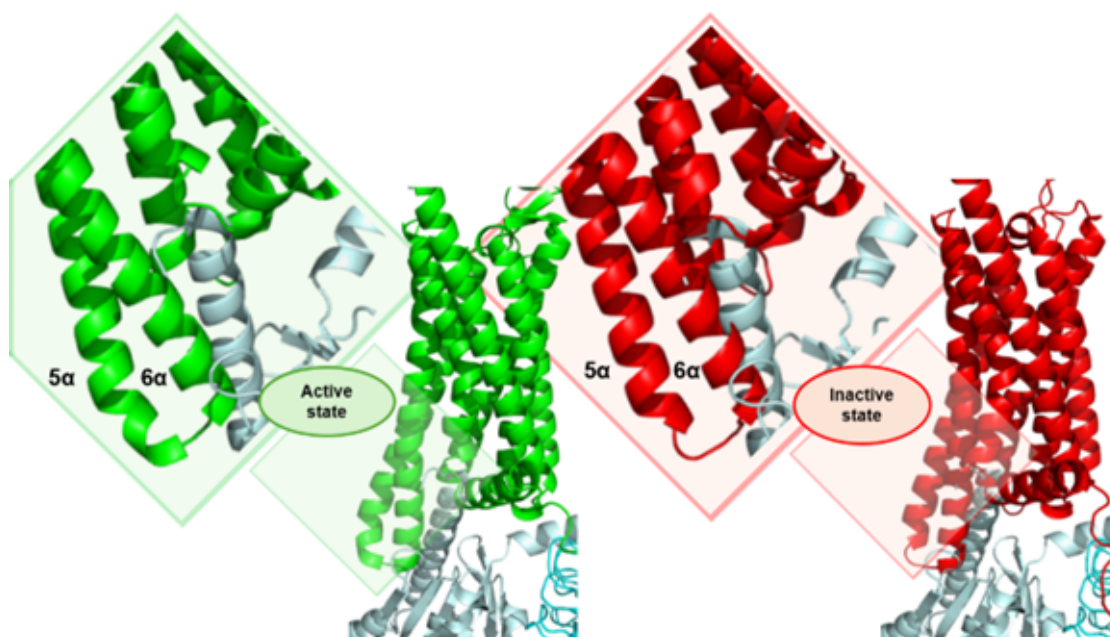


Figure 6. Changes in the arrangement of the 5 α and 6 α chains in the active (green) and inactive (red) states of the A₃ AR predicted by AlphaFold2, with visualization of the Gi protein binding site (blue)

Comparative analysis of AlphaFold-predicted active and inactive AR structures

To understand the structural changes of proteins associated with different G protein subtypes, we also performed TM-scoring and alignment of the structures of active A_{2B} with the active conformation of A₃ AR (Figure 7). TM-scores showed a value of 0.85 when using the active A_{2B} structure as a reference, which means that the similarity of the structures is 85%. However, when using the active A₃ structure as a reference, TM scores showed a value of 0.89, which corresponds to a similarity of 89%. RMSD calculation showed a value of 2.52, while sequence identity showed a value of 0.394, equivalent to a sequence similarity of 39.4%. This proves the differences between proteins in amino acid sequence and at the same time structural similarity.

Visual assessment of the differences and similarities between structures using alignment showed us very interesting results, which may be useful. The first similarity that was determined is in the α chains located in the bilayer of the membrane. This structure, as seen from the data shown above, is conserved between A_{2B} and A₃, and possibly all adenosine receptors. The main distinguishing feature between the structures of the two proteins, in our opinion, is the difference in the linkers between various α chains, such as between 2 α and 3 α , between 4 α and 5 α directed to the extracellular space. These sites are known to be amino acid sequences responsible for the primary binding to ligands. Considering the difference between the chains directed toward the intracellular space, the positions of 5 α and 6 α chains seem to distinguish GPCRs depending on their G α types. Structural analysis of A_{2B} bound to Gs and A₃ bound to Gi are shown in Figures 4 and 6.

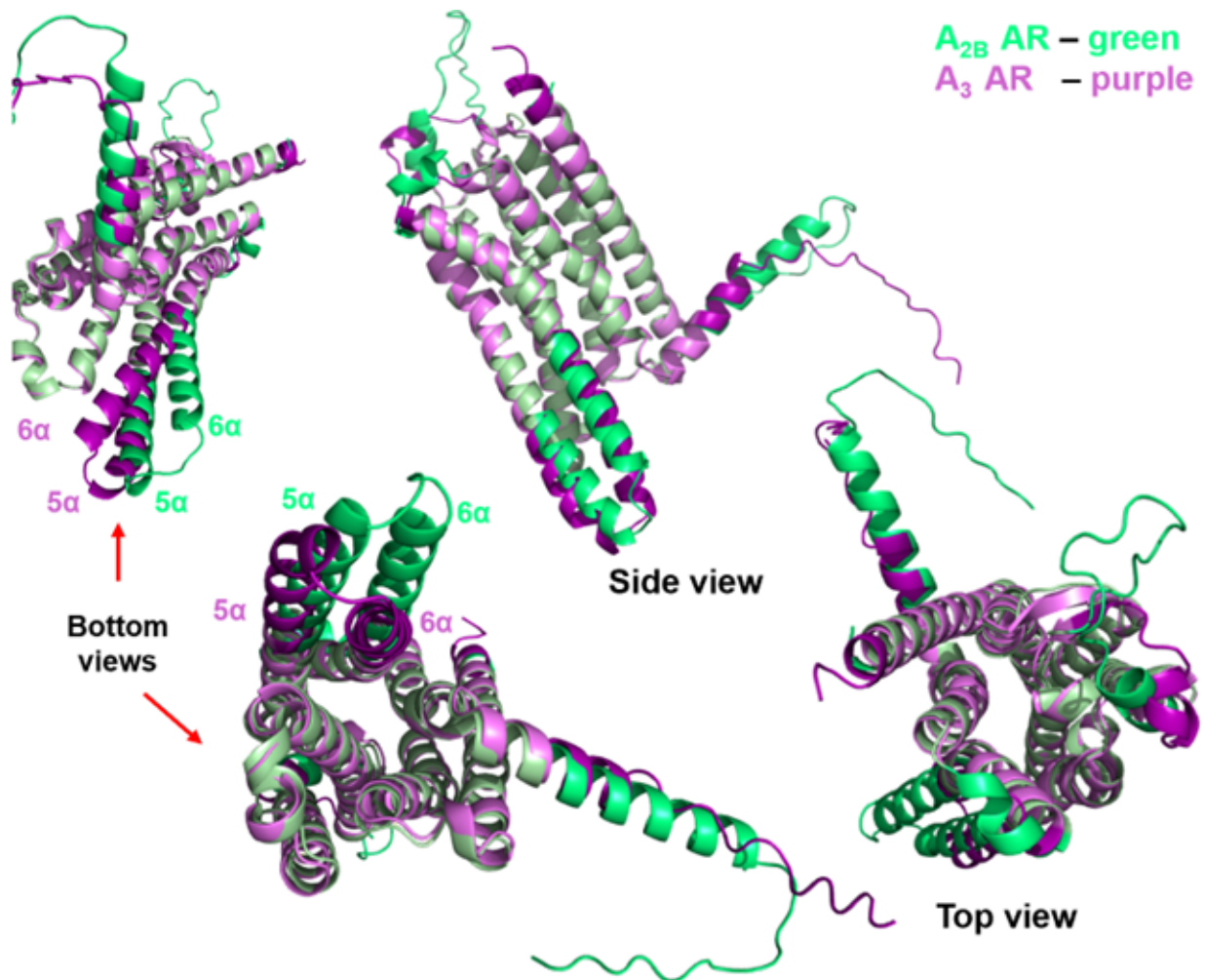


Figure 7. Alignment of the structures of active A_{2B} (green) with active A_3 (purple) ARs. The intensity of the color shows the sites that differ between the two. The following views are provided for illustrative purposes: top view (extracellular regions), side view (extracellular, intracellular, and transmembrane regions), bottom view (intracellular regions)

Additionally, a similar analysis was conducted for the inactive structures of A_{2B} with A_3 AR. TM-score when the A_{2B} structure was used as a reference was 0.87, and 0.90 when A_3 was used as a reference, which shows the identity of 87% and 90%. The RMSD value was 1.81, which indicates their greater similarity compared to the active states. In the inactive state, sequence similarity is almost identical, with a deviation of less than 1%, much less compared with the similarity between the active receptors (0.404, that is, 40.4%). Visual assessment of the difference and similarity of the structures by alignment showed that the inactive structures are almost identical (Figure 8). The main differences are the linker regions in the direction of the extracellular space.

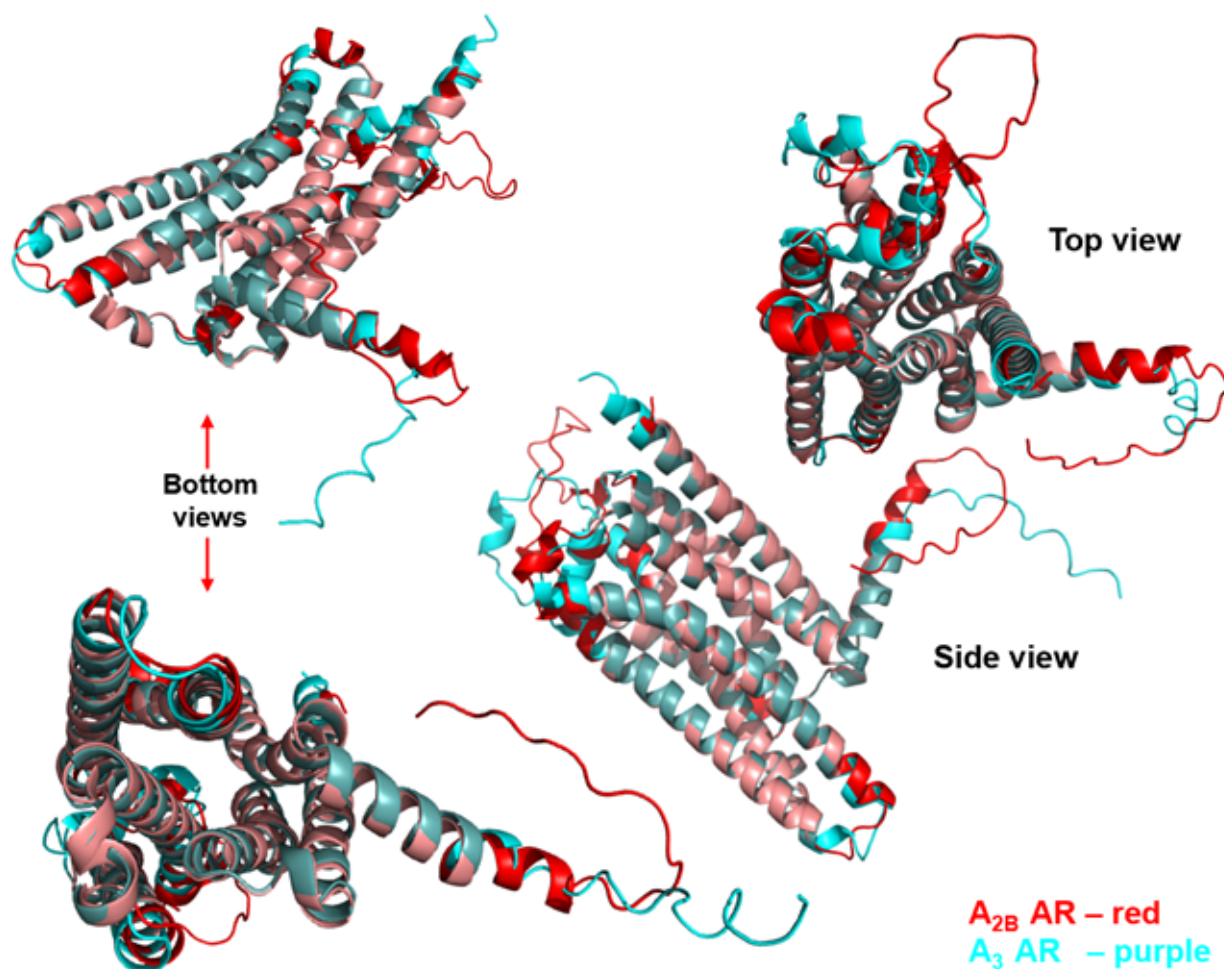


Figure 8. Alignment of the structures of inactive A_{2B} (red) with inactive A₃ (blue) AR. The intensity of the color shows the sites that differ between the two. The following views are provided for illustrative purposes: top view (extracellular regions), side view (extracellular, intracellular, and transmembrane regions), bottom view (intracellular regions)

Conclusion

During the study, we confirmed the relevance of using protein structures by the AlphaFold2 program. This study was done due to the lack of available A₃ AR and A_{2B} structures for molecular *in silico* research. According to our studies, the homology between the active structures of A_{2B} obtained experimentally and by modeling was 96%, with a sequence identity of 98%. We also conducted a comparative analysis of the active and inactive structures of adenosine receptors and determined regions that underwent changes under the influence of agonists. Structural analysis showed that $\alpha 5$ and $\alpha 6$ helices are responsible for releasing the G α subunit. These data are supported by previous publications. Comparative analysis of the inactive forms of A₃ and A_{2B} AR showed structural homology from 87% to 90% with an amino acid sequence identity of 40%. Comparative analysis of the active forms of these

receptors showed homology of 85% to 89% depending on the reference protein, with an amino acid sequence identity of 40. However, visual analysis and also structural analysis showed that the release of G α s, which is mediated by the A_{2B} AR signal, requires more conformational changes compared to the release of G α i by the A₃ AR protein.

Source of funding

The work was supported by grants MSHE AP19680579 and RSF 24-23-00603

Data Availability Statement

All the data are available within the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Authors' contribution

Satkanov M. – conceptualization, methodology, investigation, validation, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, visualization.

Chupakhin E. – writing – original draft, writing – review & editing.

References

1. Rivkees S.A., Reppert S.M. RFL9 encodes an A2b-adenosine receptor // *Mol Endocrinol.* – 1992. – Vol. 6, – № 10. – P. 1598–1604.
2. Pierce K.D., Furlong, T.J., Selbie, L.A., Shine, J. Molecular cloning and expression of an adenosine A2b receptor from human brain // *Biochem Biophys Res Commun.* – 1992. – Vol. 187, – № 1. – P. 86–93.
3. Feoktistov I., Biaggioni I. Adenosine A2B receptors // *Pharmacol Rev.* – 1997. – Vol. 49, – № 4. – P. 381–402.
4. Cai H., Xu Y., Guo S., He X., Sun J., Li X., Li C., Yin W., Cheng X., Jiang H., Xu H.E., Xie X., Jiang Y. Structures of adenosine receptor A2BR bound to endogenous and synthetic agonists // *Cell Discov.* – 2022. – Vol. 8, – № 1. – P. 1–4.
5. Sun Y., Huang P. Adenosine A2B Receptor: From Cell Biology to Human Diseases // *Front Chem.* – 2016. – Vol. 4. – P. 37.
6. Xaus J., Mirabet M., Lloberas J., Soler C., Lluís C., Franco R., Celada A. IFN-gamma up-regulates the A2B adenosine receptor expression in macrophages: a mechanism of macrophage deactivation // *J Immunol.* – 1999. – Vol. 162, – № 6. – P. 3607–3614.
7. Kolachala V., Asamoah V., Wang L., Obertone T.S., Ziegler T.R., Merlin D., Sitaraman S.V. TNF-alpha upregulates adenosine 2b (A2b) receptor expression and signaling in intestinal epithelial cells: a basis for A2bR overexpression in colitis // *Cell Mol Life Sci.* – 2005. – Vol. 62, – № 22. – P. 2647–2657.

8. Nguyen D.K., Montesinos M.C., Williams A.J., Kelly M., Cronstein B.N. Th1 cytokines regulate adenosine receptors and their downstream signaling elements in human microvascular endothelial cells // *J Immunol.* – 2003. – Vol. 171, – № 8. – P. 3991–3998.
9. St Hilaire C., Koupenova M., Carroll S.H., Smith B.D., Ravid K. TNF-alpha upregulates the A2B adenosine receptor gene: The role of NAD(P)H oxidase 4 // *Biochem Biophys Res Commun.* – 2008. – Vol. 375, – № 3. – P. 292–296.
10. Sitaraman S.V., Wang L., Wong M., Bruewer M., Hobert M., Yun C.H., Merlin D., Madara J.L. The adenosine 2b receptor is recruited to the plasma membrane and associates with E3KARP and Ezrin upon agonist stimulation // *J Biol Chem.* – 2002. – Vol. 277, – № 36. – P. 33188–33195.
11. Pándy-Szekeres G., Caroli J., Mamyrbekov A., Kermani A.A., Keserű G.M., Kooistra A.J., Gloriam D.E. GPCRdb in 2023: state-specific structure models using AlphaFold2 and new ligand resources // *Nucleic Acids Res.* – 2022. – Vol. 51, – № D1. – P. D395–D402.
12. GPCRdb. Inactive A2B receptor structure model. [Electronic resource]. Available at: https://gpcrdb.org/structure/homology_models/aa2br_human_inactive (accessed 15.11.2023).
13. GPCRdb. Active A2B receptor structure model. [Electronic resource]. Available at: https://gpcrdb.org/structure/homology_models/aa2br_human_active (accessed 16.11.2023).
14. Ciancetta A., Jacobson K.A. Structural Probing and Molecular Modeling of the A3 Adenosine Receptor: A Focus on Agonist Binding // *Molecules.* – 2017. – Vol. 22, – № 3. – P. 449.
15. Borea P.A., Gessi S., Bar-Yehuda S., Fishman P. A3 adenosine receptor: pharmacology and role in disease // *Handb Exp Pharmacol.* – 2009. – № 193. – P. 297–327.
16. Linden J. Cloned adenosine A3 receptors: pharmacological properties, species differences and receptor functions // *Trends Pharmacol Sci.* – 1994. – Vol. 15, – № 8. – P. 298–306.
17. Lopes L.V., Rebola N., Pinheiro P.C., Richardson P.J., Oliveira C.R., Cunha R.A. Adenosine A3 receptors are located in neurons of the rat hippocampus // *Neuroreport.* – 2003. – Vol. 14, – № 12. – P. 1645–1648.
18. Janes K., Symons-Liguori A.M., Jacobson K.A., Salvemini D. Identification of A3 adenosine receptor agonists as novel non-narcotic analgesics // *Br J Pharmacol.* – 2016. – Vol. 173, – № 8. – P. 1253–1267.
19. Fishman P., Bar-Yehuda S., Liang B.T., Jacobson K.A. Pharmacological and therapeutic effects of A3 adenosine receptor agonists // *Drug Discov Today.* – 2012. – Vol. 17, – № 7–8. – P. 359–366.
20. Yang H., Avila M.Y., Peterson-Yantorno K., Coca-Prados M., Stone R.A., Jacobson K.A., Civan M.M. The cross-species A3 adenosine-receptor antagonist MRS 1292 inhibits adenosine-triggered human nonpigmented ciliary epithelial cell fluid release and reduces mouse intraocular pressure // *Curr Eye Res.* – 2005. – Vol. 30, – № 9. – P. 747–754.
21. Wang Z., Do C.W., Avila M.Y., Peterson-Yantorno K., Stone R.A., Gao Z.G., Joshi B., Besada P., Jeong L.S., Jacobson K.A., Civan M.M. Nucleoside-derived antagonists to A3 adenosine receptors lower mouse intraocular pressure and act across species // *Exp Eye Res.* – 2010. – Vol. 90, – № 1. – P. 146–154.
22. Brown R.A., Spina D., Page C.P. Adenosine receptors and asthma // *Br J Pharmacol.* – 2008. – Vol. 153 Suppl 1, – № Suppl 1. – P. S446–456.
23. GPCRdb. Inactive A3 receptor structure model. [Electronic resource]. Available at: https://gpcrdb.org/structure/homology_models/aa3r_human_inactive. (accessed 17.11.2023).

24. GPCrdB. Active A3 receptor structure model. [Electronic resource]. Available at: https://gpcrdB.org/structure/homology_models/aa3r_human_active. (accessed 18.11.2023).
25. Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O., Tunyasuvunakool K., Bates R., Žídek A., Potapenko A., Bridgland A., Meyer C., Kohl S.A.A., Ballard A.J., Cowie A., Romera-Paredes B., Nikolov S., Jain R., Adler J., Back T., Petersen S., Reiman D., Clancy E., Zielinski M., Steinegger M., Pacholska M., Berghammer T., Bodenstein S., Silver D., Vinyals O., Senior A.W., Kavukcuoglu K., Kohli P, Hassabis, D. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold // *Nature*. – 2021. – Vol. 596, – № 7873. – P. 583–589.
26. Jumper J., Hassabis D. Protein structure predictions to atomic accuracy with AlphaFold // *Nat Methods*. – 2022. – Vol. 19, – № 1. – P. 11–12.
27. Outeiral C.R. AlphaFold 2 is here: what's behind the structure prediction miracle. [Electronic resource]. Available at: <https://www.blogig.com/blog/2021/07/alphafold-2-is-here-whats-behind-the-structure-prediction-miracle/> (accessed 20.11.2023).
28. Zhang Y., Skolnick J. TM-align: a protein structure alignment algorithm based on the TM-score // *Nucleic Acids Res*. – 2005. – Vol. 33, – № 7. – P. 2302–2309.
29. Nakatsukasa H., Tsukimoto M., Harada H., Kojima S. Adenosine A2B receptor antagonist suppresses differentiation to regulatory T cells without suppressing activation of T cells // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2011. – Vol. 409, – № 1. – P. 114–119.
30. Sachdeva S., Gupta M. Adenosine and its receptors as therapeutic targets: An overview // *Saudi Pharmaceutical Journal*. – 2013. – Vol. 21, – № 3. – P. 245–253.
31. Schwarzschild M.A. et al. Targeting adenosine A2A receptors in Parkinson's disease // *Trends Neurosci*. – 2006. – Vol. 29, – № 11. – P. 647–654.
32. Tate C.G. A crystal clear solution for determining G-protein-coupled receptor structures // *Trends in Biochemical Sciences*. – 2012. – Vol. 37, – № 9. – P. 343–352.
33. Patwardhan A., Cheng N., Trejo J. Post-Translational Modifications of G Protein–Coupled Receptors Control Cellular Signaling Dynamics in Space and Time // *Pharmacological reviews*. 2021. – Vol. 73, – № 1. – P. 120–151.
34. Daly J.W., Jacobson K.A., Ukena D. Adenosine receptors: development of selective agonists and antagonists // *Prog Clin Biol Res*. – 1987. – Vol. 230. – P. 41–63.

М. Сатканов*, Е. Чупахин

Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия

Потенциал структур аденозиновых рецепторов, предсказанных AlphaFold2, в разработке лекарств и молекулярном моделировании

Аннотация. Аденозиновые рецепторы (АР) привлекли внимание как ценные цели при разработке лекарств из-за их широкой экспрессии в различных тканях и их уникальных, тканеспецифичных ролей. Эти рецепторы регулируют многочисленные физиологические процессы, и препараты, которые избирательно воздействуют на АР, обладают большим терапевтическим потенциалом. Хотя несколько структур АР были экспериментально

разрешены и доступны в структурных базах данных, таких как Protein Data Bank (PDB), некоторые формы рецепторов остаются структурно неопределенными. Этот пробел ограничивает всестороннее молекулярное моделирование, необходимое для изучения взаимодействий рецепторов и лигандов и точного прогнозирования потенциальных терапевтических эффектов. Осознавая терапевтические перспективы нацеливания на аденозиновые рецепторы, мы исследовали возможность использования структур, предсказанных AlphaFold2, при разработке лекарств. В частности, мы изучили структуру активного A_{2B} AR, предсказанную AlphaFold2, и сравнили ее с ее экспериментально определенным аналогом из PDB. Наш анализ выявил высокую степень сходства с оценкой TM 0,96 и среднеквадратическим отклонением (RMSD) 1,48 Å, что подчеркивает жизнеспособность моделей AlphaFold2 для молекулярной стыковки и приложений по поиску лекарств. Кроме того, мы провели сравнительный анализ активных и неактивных форм рецепторов A_{2B} и A₃ и их связей с G-белками. Эта оценка дала дальнейшее представление о функциональности рецепторов и структурной динамике, расширив наше понимание их структурно-активных взаимосвязей. Наши результаты подтверждают, что AlphaFold2 является ценным инструментом в структурной биологии, особенно для поиска лекарств, нацеленных на AR, где экспериментальные структуры недоступны. Этот подход обещает расширить возможности моделирования *in silico*, помогая в разработке селективных и эффективных терапевтических средств.

Ключевые слова: прогнозирование структуры белка, TM-align, структурная биология, структурный анализ, поиск лекарств

М.Сатканов*, Е.Чупахин

Иммануил Кант атындағы Балтық федералды университеті, Калининград, Ресей

Дәрілік заттарды ашу және молекулалық модельдеу кезінде AlphaFold2 болжаған аденозиндік рецепторлар құрылымдарының әлеуеті

Аңдатпа. Аденозиндік рецепторлар (AR) әртүрлі тіндерде кең таралған экспрессиясына және олардың бірегей, тінге тән рөлдеріне байланысты дәрілік заттарды табуда құнды мақсат ретінде назар аударды. Бұл рецепторлар көптеген физиологиялық процестерді реттейді және AR-ға таңдамалы түрде бағытталған препараттар үлкен емдік әлеуетке ие. Бірнеше AR құрылымдары эксперименталды түрде шешілген және ақуыз деректер банкі (Protein Data Bank, PDB) сияқты құрылымдық дерекқорларда қол жетімді болса да, кейбір рецепторлардың пішіндері құрылымдық түрде анықталмаған күйде қалады. Бұл олқылық рецепторлар-лигандтардың өзара әрекеттесуін зерттеу және ықтимал емдік әсерлерді дәл болжау үшін қажет кешенді молекулалық модельдеуді шектейді. Аденозиндік рецепторларға бағытталған емдік уәдені мойындай отырып, біз дәрілік дизайнда AlphaFold2-болжамды құрылымдарды қолданудың орындылығын зерттедік. Атап айтқанда, біз AlphaFold2 болжаған белсенді A_{2B} AR құрылымын зерттедік және оны эксперименталды түрде анықталған PDB аналогымен салыстырдық. Біздің талдауымыз TM-балы 0,96 және орташа квадраттық ауытқуы (RMSD) 1,48 Å болатын ұқсастықтың жоғары дәрежесін анықтады, бұл AlphaFold2 модельдерінің

молекулалық қоңдыру және дәрілік заттарды табу қолданбалары үшін өміршеңдігін атап өтті. Сонымен қатар, біз A_{2B} және A_3 рецепторларының белсенді және белсенді емес формаларына және олардың G-белоктарымен байланыстарына салыстырмалы талдау жасадық. Бұл бағалау рецепторлардың функционалдығы мен құрылымдық динамикасына қосымша түсінік беріп, олардың құрылым-белсенділік қатынастары туралы түсінігімізді жақсартады. Біздің нәтижелеріміз AlphaFold2-ті құрылымдық биологиядағы құнды құрал ретінде, әсіресе эксперименттік құрылымдар қол жетімсіз AP-ға бағытталған дәрілерді табу үшін қолдайды. Бұл тәсіл *in silico* модельдеу мүмкіндіктерін кеңейтуге уәде береді, селективті және тиімді терапияны дамытуға көмектеседі.

Түйінді сөздер: белок құрылымын болжау, TM-align, құрылымдық биология, құрылымдық талдау, дәрілік заттарды зерттеу

Information about authors:

Satkanov M. – Master in the field of chemistry, PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Higher School of Living Systems, Kaliningrad, 236041, Russian Federation

Chupakhin E. – Candidate of chemical sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Higher School of Living Systems, Kaliningrad, 236041, Russian Federation

Сведения об авторах:

Сатканов М. – магистр в области химии, PhD студент, Высшая школа живых систем, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, 236041, Россия

Чупахин Е. – к.х.н., доцент, Высшая школа живых систем, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, 236041, Россия

Редакторы: Р.І. Берсімбаи

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulbio.enu.kz/>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Биологиялық ғылымдар сериясы.
– 1(146)/2024 - Астана: ЕҰУ. – 205 б.
Шартты б.т. – 23,5. Таралымы – 8 дана.
Басуға қол қойылды: 20.03.2024

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulbio.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-428)
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды