



ISSN 2518-7201 (Print)
ISSN 2663-5003 (Online)

BULLETIN

OF THE KARAGANDA UNIVERSITY

BIOLOGY. MEDICINE. GEOGRAPHY

Series

№ 3(107)/2022

ISSN-L 2518-7201 (Print)
ISSN 2663-5003 (Online)
Индексі 74620
Индекс 74620

**ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

ВЕСТНИК

**КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

BULLETIN

**OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY**

БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ГЕОГРАФИЯ сериясы

Серия БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ГЕОГРАФИЯ

BIOLOGY. MEDICINE. GEOGRAPHY Series

№ 3(107)/2022

Шілде–тамыз–қыркүйек
30 қыркүйек 2022 ж.

Июль–август–сентябрь
30 сентября 2022 г.

July–August–September
September 30th, 2022

1996 жылдан бастап шығады
Издается с 1996 года
Founded in 1996

Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Қарағанды, 2022
Караганда, 2022
Karaganda, 2022

Бас редакторы
биол. ғыл. канд.
М.Ю. Ишмуратова

Жауапты хатшы
биол. ғыл. канд.
С.У. Тлеукенова

Редакция алқасы

М. Броди,	PhD д-ры, Америка университеті, Вашингтон (АҚШ);
Р.Г. Оганесян,	PhD д-ры, Пенсильвания университеті, Филадельфия (АҚШ);
К.-Д. Конерт,	мед. ғыл. д-ры, Диабет институты, Карлсбург (Германия);
Аммад Ахмад Фаруки	PhD д-ры, Биомедициналық және генетикалық инженерия институты, Исламабад (Пакистан);
С.В. Кушнарэнко,	биол. ғыл. канд., Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы (Қазақстан);
Г.Г. Мейрамов,	мед. ғыл. д-ры, акад. Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті (Қазақстан);
А.В. Панин,	геогр. ғыл. д-ры, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті (Ресей);
Р.Т. Бексеитова,	геогр. ғыл. д-ры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы (Қазақстан);
О.Л. Макарова,	биол. ғыл. канд., РҒА А.Н. Северцов атындағы Экология және эволюция институты, Мәскеу (Ресей)
Д.Л. Голованов,	геогр. ғыл. канд., М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Орыс географиялық қоғамының толық мүшесі, Докучаев топырақтанушылар қоғамы бастауыш ұйымының төрағасы; «География» бөлімі бойынша шақырылған редактор

Редакцияның мекенжайы: 100024, Қазақстан, Қарағанды қ., Университет к-сі, 28.

Тел.: (7212) 77-00-69; факс: (7212) 35-63-98.

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

Сайты: <https://biollogy-medicine-geography-vestnik.ksu.kz/>

Редакторлары

Ж.Т. Нурмуханова, С.С. Балкеева, З.Е. Рамазанова

Компьютерде беттеген

В.В. Бутяйкин

Қарағанды университетінің хабаршысы. «Биология. Медицина. География» сериясы.

ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

Меншік иесі: «Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті» КЕАҚ.

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігімен тіркелген. 30.09.2020 ж. № KZ32VPY00027389 қайта есепке қою туралы куәлігі.

Басуға 29.09.2022 ж. қол қойылды. Пішімі 60×84 1/8. Қағазы офсеттік. Көлемі 25,88 б.т. Таралымы 200 дана. Бағасы келісім бойынша. Тапсырыс № 110.

«Акад. Е.А. Бөкетов ат. Қарағанды ун-ті» КЕАҚ баспасының баспаханасында басылып шықты.

100024, Қазақстан, Қарағанды қ., Университет к-сі, 28. Тел. (7212) 35-63-16. E-mail: izd_kargu@mail.ru

© Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, 2022

Главный редактор
канд. биол. наук
М.Ю. Ишмуратова

Ответственный секретарь
канд. биол. наук
С.У. Тлеуменова

Редакционная коллегия

- М. Броди,** д-р PhD, Американский университет, Вашингтон (США);
Р.Г. Оганесян, д-р PhD, Пенсильванский университет, Филадельфия (США);
К.-Д. Конерт, д-р мед. наук, Институт Диабета, Карлсбург (Германия);
Аммад Ахмад Фаруки, д-р PhD, Институт биомедицинской и генетической инженерии, Исламабад (Пакистан);
С.В. Кушнарченко, канд. биол. наук, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы (Казахстан);
Г.Г. Мейрамов, д-р мед. наук, Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова (Казахстан);
А.В. Панин, д-р геогр. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия);
Р.Т. Бексеитова, д-р геогр. наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы (Казахстан);
О.Л. Макарова, канд. биол. наук, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва (Россия);
Д.Л. Голованов, канд. геогр. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия); действительный член Русского географического общества, председатель первичной ячейки Докучаевского общества почвоведов, приглашенный редактор по разделу «География»

Адрес редакции: 100024, Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28.

Тел.: (7212) 77-00-69; факс: (7212) 35-63-98.

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

Сайт: <https://biollogy-medicine-geography-vestnik.ksu.kz>

Редакторы

Ж.Т. Нурмуханова, С.С. Балкеева, З.Е. Рамазанова

Компьютерная верстка

В.В. Бутяйкин

Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География».

ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

Собственник: НАО «Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова».

Зарегистрировано Министерством информации и общественного развития Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на переучет № KZ32VPY00027389 от 30.09.2020 г.

Подписано в печать 29.09.2022 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Объем 25,88 п.л. Тираж 200 экз. Цена договорная. Заказ № 110.

Отпечатано в типографии издательства НАО «Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова». 100024, Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28. Тел. (7212) 35-63-16. E-mail: izd_kargu@mail.ru

Main Editor

Cand. of biology
M.Yu. Ishmuratova

Responsible secretary

Cand. of biology
S.U. Tleukenova

Editorial board

- M. Brody**, PhD, American University, Washington, DC (USA);
R.G. Oganesyanyan, PhD, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA (USA);
K.-D. Kohnert, MD, German Diabetes Center, Karlsburg (Germany);
Ammad Ahmad Farooqi PhD, Institute of Biomedical and Genetic Engineering (IBGE), Islamabad, Pakistan;
S.V. Kushnarenko, Cand. of biology, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty (Kazakhstan);
G.G. Meyramov, MD, Karagandy University of the name of acad. E.A. Buketov (Kazakhstan);
A.V. Panin, Doctor of geography, M.V. Lomonosov Moscow State University (Russia);
R.T. Bekseitova, Doctor of geography, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan);
O.L. Makarova, Cand. of biology, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow (Russia);
D.L. Golovanov, Cand. of geographical science, M.V. Lomonosov Moscow State University, full member of the Russian Geographical Society, chairman of the primary cell of the Dokuchaev Society of Soil Scientists, guest editor for “Geography” section

Postal address: 28, University Str., Karaganda, 100024, Kazakhstan.

Tel.: (7212) 77-00-69; fax: (7212) 35-63-98.

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

Web-site: <https://biollogy-medicine-geography-vestnik.ksu.kz>

Editors

Zh.T. Nurmukhanova, S.S. Balkeyeva, Z.E. Ramazanova

Computer layout

V.V. Butyaikin

Bulletin of the Karaganda University. “Biology. Medicine. Geography” Series.

ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

Proprietary: NLC “Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov”.

Registered by the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan. Rediscount certificate No. KZ32VPY00027389 dated 30.09.2020.

Signed in print 29.09.2022. Format 60×84 1/8. Offset paper. Volume 25,88 p.sh. Circulation 200 copies. Price upon request. Order № 110.

Printed in the Publishing house of NLC “Karagandy University of the name of acad. E.A. Buketov”.
28, University Str., Karaganda, 100024, Kazakhstan. Tel. (7212) 35-63-16. E-mail: izd_kargu@mail.ru

© Karagandy University of the name of acad. E.A. Buketov, 2022

МАЗМҰНЫ — СОДЕРЖАНИЕ — CONTENT

БИОЛОГИЯ BIOLOGY

<i>Абайлдаев Ә.О., Кузовлев В.А., Хакимжанов А.А.</i> Оптимизация питательной среды для продукции протеазы фитопатогенным грибом <i>Fusarium graminearum</i> и характеристика фермента.	7
<i>Akhmetova M.Zh., Nigmatullina R.R., Tsyplakov D.E., Mindubayeva F.A., Tykezhanova G.M.</i> Effect of different serotonin concentrations on the inotropic function and morphometric parameters of the heart of infant rats	16
<i>Аралбаева М.М., Михайленко Н.В., Кушнарченко С.В.</i> Разработка способа укоренения побегов грецкого и лесного орехов в культуре <i>in vitro</i>	24
<i>Данилова А.Н., Исакова Е.А., Сумбембаев А.А.</i> Отбор по комплексу хозяйственно-ценных признаков формообразцов житняка гребневидного во флоре Калбинского Алтая и их интродукция в Алтайском ботаническом саду	33
<i>Додонова А.Ш., Антипова Д.Д.</i> Изучение влияния способа внесения криопротекторов на сохранение семенного материала мяты длиннолистной при криоконсервации	42
<i>Дуйсенова Н.И., Гани Ш.</i> Результаты интродукции сорта <i>Chrysanthemum L.</i> в условиях Мангистау	47
<i>Жапарова С.Б., Баязитова З.Е., Курманбаева А.С., Какабаев А.А., Бекпергенова Ж.Б.</i> Термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов	56
<i>Инелова З.А., Ермеков А.Е., Едилхан Д.</i> Использование и особенности культивирования мха сфагнума в биотехнологической системе для естественной фильтрации, очистки воздуха в городских условиях	67
<i>Калиева А.К., Блиева Р.К., Адманова Г.Б., Бақытжанқызы Б., Кемалова Н.К.</i> Пектинлиаза ферменттерін түзуші <i>Penicillium cyclospium</i> штаммының биосинтезіне әртүрлі көміртеқ және азот көздерінің әсері	78
<i>Khussainov A.T., Shulembayeva K.M., Arkhipov E., Fakhrudanova I.B., Durmekbayeva Sh.N.</i> Community composition and population dynamics of vertebrates in the State National Nature Park “Burabay”	84
<i>Кубентаев С.А., Хасенова А.Е., Иманбаева А.А., Алибеков Д.Т.</i> Морфология семян редких и эндемичных растений Казахстана	92
<i>Кулаипбекова А.А., Каташева А.Ч., Жеңісова А.Ж., Байбекова Ә.У.</i> <i>Aspergillus niger</i> L-4 штаммымен ашыту кезінде инвертаза биосинтезін зерттеу	99
<i>Сарсембин У.Қ., Батырова Г.А., Умарова Г.А., Урғушбаева Г.М., Айкенова Н.Е.</i> Ақтөбе қаласының топырағының ауыр металдармен ластануын экологиялық бағалау	109
<i>Shibaeva A.K., Shaikhutdinov V.M., Myrzabayev B.M.</i> Insecticidal potential of entomopathogenic nematodes of Northern Kazakhstan	117
<i>Sultangazina G.J., Steshenko M.Y., Novak Y.O.</i> Cenopopulations of <i>Adonis wolgensis</i> Stev. in the conditions of Northern Kazakhstan	123
<i>Төлеген Н.Е., Оңдасынова Д.Ф., Бахытұлы Қ., Ибатова А.А.</i> Батыс Қазақстан кен орындарының мұнайпласт суларынан оқшауланған микроорганизмдердің таксономиялық әртүрлілігін шетелдік мұнай кен орындарымен салыстыру	127
<i>Тулешова К.А., Қали А.К., Қыздарова Д.К., Кейкин Е.К.</i> Изучение морфологической изменчивости листьев <i>Pinus sylvestris</i> , собранной на территории Карагандинской области	136
<i>Туралин Б.А., Куприянов А.Н., Курбатова Н.В., Инелова З.А., Курманбаева М.С., Абидкулова К.Т., Базарғалиева А.А., Адманова Г.Б., Чилдибаева А.Ж.</i> Особенности формирования корневой системы <i>Crambe tataria</i> Sebeók в Западном Казахстане	143

<i>Yelkenova B.Z., Beisenova R.R., Karipbayeva N.V., Polevik V.V.</i> Taxonomic and ecological analysis of vascular plants of the pine forest of the Irtysh Region.....	151
<i>Zhappar N.K., Shaikhutdinov V.M., Asherbekova L.K., Khassenova A.E., Shibaeva A.K.</i> Selection of the most productive nutrient media for the cultivation of predatory nematodes.....	158

**МЕДИЦИНА
MEDICINE**

<i>Бериккызы А., Аблайханова Н.Т., Тусупбекова Г.А., Кожамжарова Л.С.</i> Влияние коронавируса на иммунную систему организма. Литературный обзор.....	165
<i>Дүйсенбек А.А., Аблайханова Н.Т., Қалдықараева А.Т., Есенбекова А.Е., Мухитдин Б., Есим-снитова З.Б., Қожамжарова Л.</i> 2 типті қант диабеті бар науқастарда эндотелиальды дисфункциямен байланысты тамырлы асқынулар.....	176
<i>Зияшева А.М., Датхабаева Г.К.</i> Оценка потенциала нейробиоуправления для терапии ожирения по данным литературы.....	185

**ГЕОГРАФИЯ
GEOGRAPHY**

<i>Жекенов С.С., Талжанов С.А.</i> Қарағанды облысында туризм саласының дамуына әлеуметтік-экономикалық баға беру	197
---	-----

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР — СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ — INFORMATION ABOUT AUTHORS	203
--	-----

Ә.О. Абайлдаев*, В.А. Кузовлев, А.А. Хакимжанов

Институт молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина КН МОН РК, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: abaydayevaset@gmail.com

Оптимизация питательной среды для продукции протеазы фитопатогенным грибом *Fusarium graminearum* и характеристика фермента

Одним из современных направлений повышения устойчивости злаковых культур к грибковым болезням является изучение гидролитических пищеварительных ферментов патогенов и их белковых ингибиторов в зерне. В данном исследовании определена оптимальная питательная среда для получения протеазы фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum*, содержащая 1 % глюкозу и 1 % дрожжевой экстракт в качестве индуктора синтеза фермента. Период культивирования гриба при внесении $3,8 \times 10^6$ конидий/100 мл составляет 12–14 дней, при котором синтез протеазы максимальный. Методом аффинной (биоспецифической) хроматографии из наработанного в препаративном количестве КФ очищена экстрацеллюлярная сериновая трипсиноподобная протеаза, представленная по данным ДДС-электрофореза двумя белками с М.в. 24 и 27 кДа. Установлены основные физико-химические свойства фермента, важные для проявления активности и взаимодействия с белковыми ингибиторами — pH и температурный оптимумы, термостабильность, чувствительность к ионам металлов. Эти характеристики для трипсиновой протеазы *F. graminearum* приводятся впервые. Результаты исследования могут быть использованы в поиске специфических ингибиторов протеаз в зерне, как защитных белков, для их применения в оценке устойчивости сортов пшеницы к грибному поражению.

Ключевые слова: *Fusarium graminearum*, оптимизация питательной среды, культуральный фильтрат, трипсиноподобная протеаза, очистка, физико-химические свойства.

Введение

Фитопатогенные грибы способны продуцировать экстрацеллюлярные ферменты, такие как эндоглюканаза, хитиназа, ксиланаза, α -амилаза, целлюлаза, липаза, протеаза и ряд других. Эти гидролазы разлагают полимерные вещества объектов, на которых паразитирует грибок, обеспечивая его питание, рост и развитие. Было замечено, что повышенный синтез тех или иных ферментов патогеном в условиях *in vitro* во многом зависит от природы имеющихся в среде полимеров [1]. Так, протеазы лучше синтезируются при наличии в питательной среде (ПС) белковых субстратов (индукторов), например, таких как казеин, желатин, белки зерна (клейковина). В других работах была показана продукция протеаз в среде с добавлением белковых гидролизатов (например, казеинового, дрожжевого), а также в присутствии соевой, кукурузной муки и солода [2]. Кроме того, уровень протеаз зависит от pH, температуры, наличия и концентрации нитратов и сахаров [3]. Часто в литературе приводятся противоречивые сведения по этому вопросу, что указывает на сложную многофакторную регуляцию синтеза и секреции ферментов даже в контролируемых условиях культивирования *in vitro*.

Микроскопические грибы эволюционно адаптировались усваивать различные источники белка, благодаря способности вырабатывать разнообразные протеолитические ферменты, многие из которых секретируются в среду [4]. Протеазы делятся на шесть основных классов — серин, цистеин, тренин, аспарагин, глутамин и металлопротеазы, в зависимости от присутствия функциональных групп в активном центре. Внеклеточные протеазы грибов в основном серинового типа и представлены се-

мействами субтилизина и трипсина [5]. Некоторые исследования свидетельствуют о существовании корреляции между сериновыми (трипсиновыми) протеазами и патогенностью грибов [6]. В дальнейшем эта гипотеза была развита другими работами, где показано участие сериновых протеаз в лизисе клеточных стенок и защитных PR (pathogenesis related) белков растения-хозяина [7].

Представители рода *Fusarium* поражают в основном зерновые культуры. Эта проблема актуальна для многих регионов мира, в т. ч. и Казахстана, где фузариозы широко распространены, причиняя большой урон урожаю. Одними из основных пищеварительных ферментов этих грибов являются протеазы, переводящие запасной нерастворимый протеин в легкоусвояемые вещества [8]. Вместе с тем, в зерне злаковых содержатся разнообразные белковые ингибиторы экзогенных ферментов, в т.ч. патогенных грибов. Эти белки относятся к компонентам защитной системы (иммунитета) растений, поскольку они подавляют активность пищеварительных (дигестивных) ферментов и препятствуют росту патогенов [9]. Например, в зерне ячменя установлено наличие ингибиторов сериновых протеаз, содержание которых у разных сортов существенно варьировало [10]. Для пшеницы таких сведений практически нет, между тем проблема фузариозного зерна весьма злободневна, поскольку такое зерно полностью не пригодно для употребления в пищу из-за присутствия опасных токсинов (дезоксиниваленол и др.) [11].

Анализ литературных данных показывает, что в настоящее время протеазы фитопатогенов и их ингибиторы из зерна, в связи с большой теоретической и практической значимостью, интенсивно изучаются во всем мире. Использование этих защитных белков-ингибиторов в тестировании сортов пшеницы на устойчивость к грибному поражению представляется актуальным и перспективным.

Цель настоящего исследования — подбор условий культивирования гриба *Fusarium graminearum* с высокой продукцией протеаз, очистка сериновой протеазы из культуральной жидкости и определение некоторых физико-химических свойств фермента. Данная работа является необходимым этапом для поиска, идентификации и применения специфических белковых ингибиторов протеаз.

Материалы и методы исследования

Объект исследований — фитопатогенный гриб *F.graminearum* (штамм F-RKM0142), полученный из Республиканской коллекции микроорганизмов.

Культивирование гриба F. graminearum и получение КФ

Мицелий гриба *F. graminearum* пассировали в пробирки со скошенной агаризованной средой Чапек-Докс (Sigma-Aldrich, США) в стерильных условиях в ламинарном шкафу Airstreamduo AC2-468 (ESCO, Сингапур) и культивировали при температуре 30 °С в течение 10 дней. Затем делали смывы и производили подсчет конидий в камере Горяева. Конидии в количестве $2,2 \times 10^6$ /мл (или $3,8 \times 10^6$ /мл) вносили в 500 мл колбы с модифицированной жидкой ПС Чапек-Докс объемом 100 мл и культивировали при 24 °С в течение 21 дня на шейкере (120 об/мин). Отделение культуральной жидкости от мицелия и спор проводили в течение 30 мин центрифугированием при 3000 g. Супернатант пропускали через бумажный фильтр с красной лентой, полученный культуральный фильтрат (КФ) хранили при -20 °С до использования.

Количественное определение глюкозы

Для количественного определения глюкозы к 0,1 мл КФ (разведенному в 20 раз) добавляли 0,9 мл H₂O и 1 мл 3,5-динитросалициловой кислоты. Реакционную смесь выдерживали в кипящей водяной бане 10 мин и резко охлаждали. Оптическую плотность измеряли при длине волны 540 нм. Количество глюкозы определяли по калибровочной кривой и выражали в мг/100 мл.

Определение активности протеазы

Для определения активности протеазы к 0,1 мл ферментного образца добавляли 0,1 мл 0,5 М фосфатного буфера рН 7,6, 0,3 мл H₂O и 0,5 мл 1 % бычьего гемоглобина. Смесь инкубировали 4 ч при 37 °С от 1 до 4 ч в зависимости от активности фермента. После инкубации добавляли 1 мл 10 % ТХУ, смесь выдерживали 20 мин при +4 °С и центрифугировали со скоростью 8000 g 15 мин. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Ultrospec II (GE Healthcare, Швеция) при длине волны 280 нм. Активность фермента выражали в ед. активности на 1 мл в ч. За 1 единицу принимали такое количество фермента в образце, которое при гидролизе субстрата вызывает увеличение оптической плотности раствора на 0,01 [12].

Очистка трипсиноподобной протеазы

Белки из КФ, полученного в результате нескольких циклов культивирования гриба, осаждали при 0 °С сульфатом аммония в пределах насыщения от 20 до 80 %. После 30 мин центрифугирования

при 3000 об/мин осадок диализовали против 25 мМ Na-фосфатного буфера pH 7,0 в течение ночи при 4 °С. Полученный после центрифугирования супернатант использовали в качестве источника ферментов.

Для очистки трипсиновой протеазы использовали аффинную хроматографию на иммобилизованном ингибиторе трипсина сои (Sigma-Aldrich, США) по методу [13]. Ковалентную пришивку ингибитора к CNBr-активированной сефарозе 4В (GE Healthcare, Швеция) проводили по прилагаемой прописи. Смола уравнивали 0,05 М Na-фосфатным буфером pH 7,6. Хроматографию вели при температуре 4 °С в колонке размером 1,2×6 см на хроматографической системе низкого давления LCC 100 (Pharmacia, Швеция). Связавшийся фермент десорбировали раствором 50 мМ уксусной кислоты. В собранных белковых фракциях pH быстро доводили до значения 7,0–8,0 раствором 0,2 М NaOH. Фракции с протеазой объединяли и концентрировали на ячейке Amicon 50, фильтр UM-10 (Millipore, США).

Электрофорез белков

Электрофорез белков в ПАГ в денатурирующих условиях с додецилсульфатом натрия (ДДС-Na₂) проводили на приборе TV100Y (Scie-Plas, Англия) в пластинах 12 % ПАГ размером 100×80×1 мм по методу Лэммли [14]. После электрофореза пластины ПАГ фиксировали в 12,5 % ТХУ 1 час и окрашивали 0,15 % кумасси бриллиантовым голубым G-250. Для определения молекулярного веса использовали белки-маркеры (Pharmacia, Швеция).

Эксперименты и измерения ферментной активности проводились в трех повторностях. Данные графиков и таблицы представлены средними арифметическими значениями и их стандартными отклонениями.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация питательной среды для продукции протеазы грибом F. graminearum

С целью получения протеаз гриба *F. graminearum* в нашей работе для погруженного культивирования был использован минеральный состав среды Чапек-Докс с некоторой модификацией. Из состава был исключен нитрат натрия, а трехпроцентная сахароза была заменена на однопроцентную глюкозу. По некоторым данным, нитраты и относительно высокие концентрации сахаров могут выступать в качестве репрессоров синтеза некоторых гидролаз, в т.ч. и протеаз [15]. Таким образом, базовая среда включала 1,5 г КН₂РO₄, 0,25 г MgSO₄·7H₂O, 0,01 г FeSO₄·7H₂O и 1 г глюкозы на 100 мл воды. Все эксперименты были проведены в одинаковых условиях температуры 24 °С на качалке со скоростью вращения 120 об./мин и с 12 ч режимом освещения. Культивирование вели в течение 21-го дня в 3-х повторностях, пробы для анализа ферментной активности отбирались через каждые 3 дня.

В первом эксперименте исследована зависимость динамики роста массы мицелия от изменения концентрации глюкозы и значения pH среды в период цикла культивирования гриба *F. graminearum* на модифицированной среде Чапек-Докс. При этом четко прослеживалось накопление биомассы с увеличением pH и снижением количества глюкозы в культуральной жидкости. Максимальная масса мицелия наблюдалась к концу культивирования — на 18-й и 21-й дни (рис. 1).

В следующем эксперименте исследовалось влияние различных белковых добавок (индукторов) — 1 % казеина по Гамарстену, 1 % желатина из рыб и 1 % дрожжевого экстракта на активность секретируемой грибом протеазы. Пробы культуральной жидкости отфильтровывали, обессоливали на колонке CentryPureP10 (Serva, Германия) и хранили при –20 °С до измерения. В результате были получены следующие данные. Наибольшая протеазная активность наблюдалась в варианте культивирования гриба в среде с добавлением 1 % дрожжевого экстракта (рис. 2). Казеин и желатин не оказывали существенного влияния на уровень накопления протеазы. Таким образом, дрожжевой экстракт легче усваивается грибом и является более эффективным индуктором синтеза фермента. Максимальная активность протеазы (более 35 % по сравнению с другими добавками) наблюдалась на 18-й день культивирования, затем происходило снижение ферментной активности.

Исследовано также влияние добавок углеводного источника — глюкозы на активность протеазы. В эксперименте использовали две среды с 1 % дрожжевым экстрактом. В опытном варианте в среду добавляли 1 % глюкозу, в контрольном варианте сахар отсутствовал. В результате наибольшая протеазная активность была отмечена для варианта среды с 1 % дрожжевым экстрактом и 1 % глюкозой на 15–18-е сутки культивирования — почти в 2,5 раза выше по сравнению с контролем (рис. 3). Следует отметить, что при повышении концентрации глюкозы до 2–3 % усиливался рост гриба, однако синтез протеаз возрастал незначительно (не более 10–15 %).

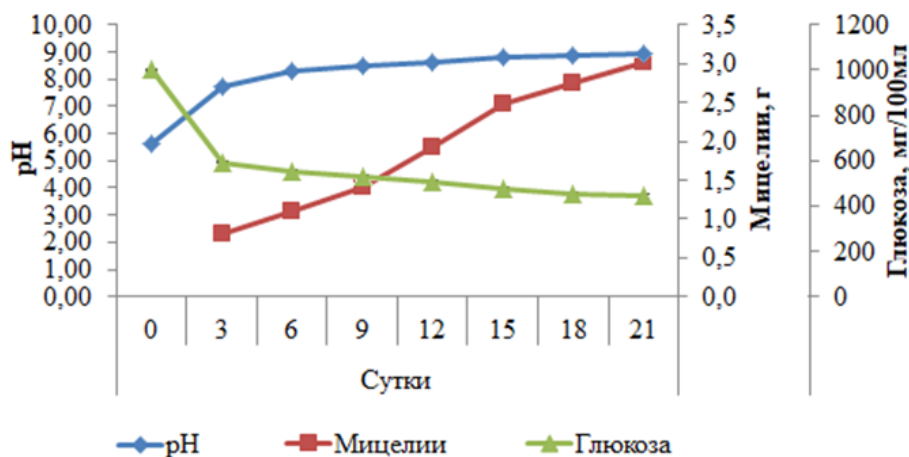


Рисунок 1. Изменение pH, концентрации глюкозы и массы мицелия в культуре гриба *F. graminearum*

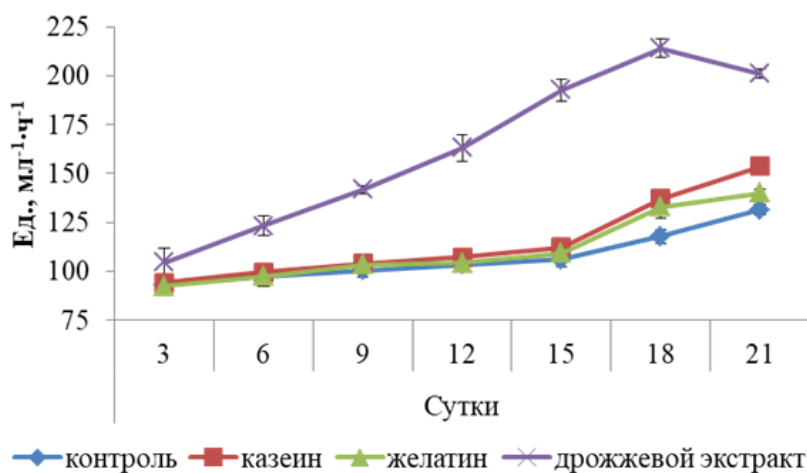


Рисунок 2. Изменение активности протеазы в культуре гриба *F. graminearum* в присутствии различных белковых индукторов

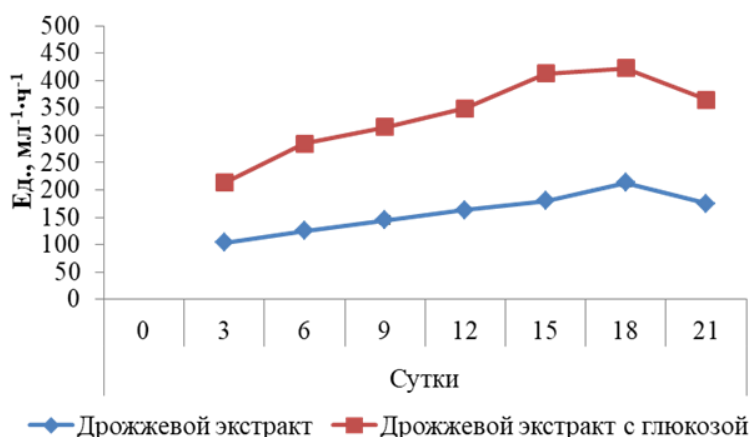


Рисунок 3. Изменение активности протеазы в культуре гриба *F. graminearum* в присутствии дрожжевого экстракта с глюкозой и без глюкозы

Важным фактором роста грибной культуры является количество используемого инокулюма. В связи с этим исследовано влияние разных дозировок конидий *F. graminearum*, вносимых в среду, на продуцирование протеазы. Установлено, что внесение конидий в большем количестве

($3,8 \times 10^6/100$ мл) способствовало увеличению продукции протеаз на 20 % по сравнению с дозой $2,2 \times 10^6/100$ мл. В первом случае максимум фермента приходился на 12-й, а во втором позднее — на 18-й день культивирования гриба (рис. 4). Дальнейшее повышение вносимой дозы инокулята в ПС является нецелесообразным в связи со сложностью его наработки.

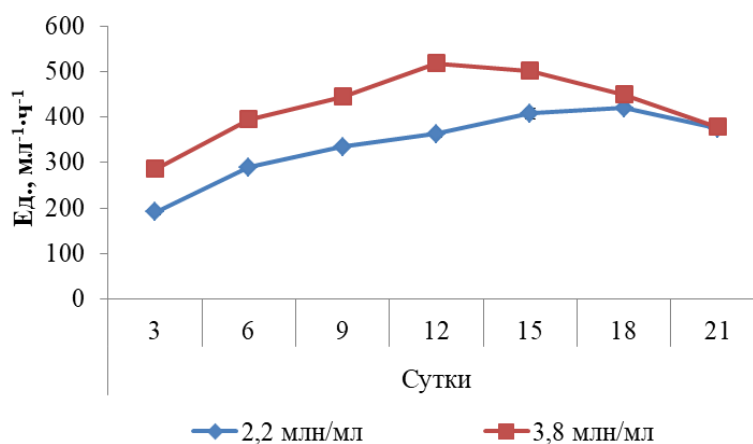
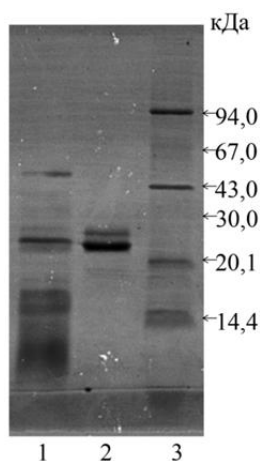


Рисунок 4. Изменение активности протеазы в культуре гриба *F. graminearum* при внесении в среду конидий в количестве $2,2 \times 10^6/мл$ и $3,8 \times 10^6/мл$

Очистка трипсиноподобной протеазы из КФ гриба *F. graminearum* и определение некоторых физико-химических свойств фермента

После выполненного аналитического варианта, где были оптимизированы режимы культивирования гриба *F. graminearum*, была проведена наработка препаративного количества протеазы. Предварительно белки КФ, собранного после нескольких циклов культивирования, осаждали и концентрировали сульфатом аммония в пределах насыщения от 20 до 80 %. Как отмечалось выше, грибы синтезируют в основном протеазы серинового типа (трипсин и субтилизин подобные). Для очистки трипсиновой протеазы использовали аффинную (биоспецифичную) хроматографию на ингибиторе трипсина сои, ковалентно связанном с CNBr-активированной сефарозой 4В. По данным ДДС-электрофореза, очищенная трипсиноподобная протеаза была представлена двумя белковыми полосами с М.в. около 24 и 27 кДа (рис. 5). При этом присутствие других белков практически не обнаружилось.



1 — белки КФ; 2 — очищенная трипсиноподобная протеаза после аффинной хроматографии; 3 — белки-маркеры М.в.

Рисунок 5. ДДС-электрофорез трипсиноподобной протеазы гриба *F. graminearum*

Определение физико-химических свойств трипсиноподобной протеазы гриба F. graminearum

Одними из наиболее важных физико-химических свойств ферментов являются рН и температурный оптимумы действия, а также термостабильность. Для определения оптимума рН очищенной сериновой протеазы гриба использовали буферы со значениями рН от 3,0 до 11,0. В кислой области (рН 3–6) использовался ацетатный буфер, а для области рН 7,0–11,0 применяли трис-буфер. Данные показали, что оптимум действия протеазы находился в районе рН 7,0–8,0 (рис. 6, а). В целом, фермент был малоактивен при кислых значениях рН, но проявлял заметную активность в нейтральной и щелочной средах, вплоть до значения 10,0. Температурный оптимум действия протеазы соответствовал 40–50 °С. Для изучения термостабильности ферментные образцы прогревали при повышенных значениях температуры от 40 до 80 °С в течение 10 мин. Контролем служили ферменты без тепловой обработки. Трипсиноподобная протеаза оказалась термолабильной и полностью инактивировалась при 60 °С (рис. 6, б).

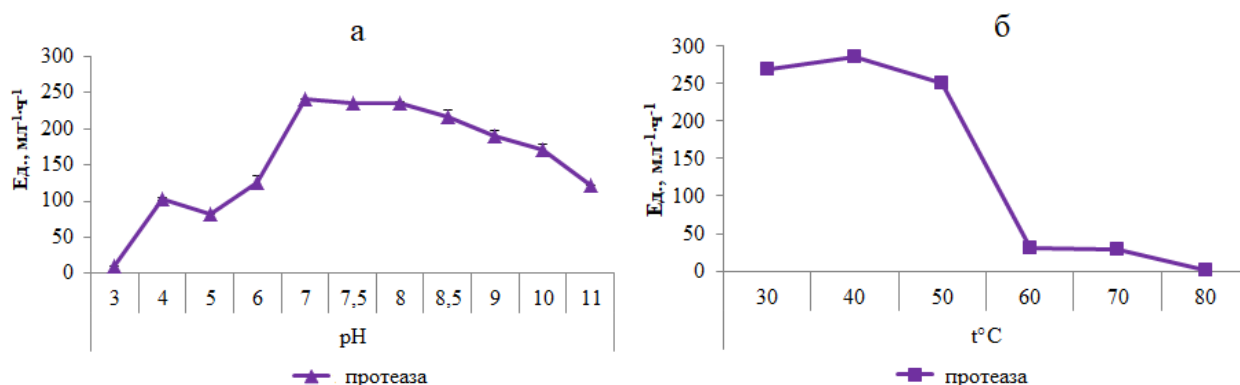


Рисунок 6. рН-оптимум (а) и термостабильность (б) трипсиноподобной протеазы

Изучено влияние двухвалентных ионов металлов на активность трипсиновой протеазы гриба. В присутствии катионов Mg^{2+} и Ca^{2+} в концентрации 1 мМ протеазная активность практически не изменялась относительно контроля (отсутствие металлов), тогда как ионы Cu^{2+} и Mn^{2+} значительно снижали уровень фермента, особенно при 10 мМ концентрации (см. табл.).

Т а б л и ц а

Влияние ионов металлов на активность трипсиноподобной протеазы гриба *F. graminearum*

Ионы металлов	Концентрация, мМ	Остаточная активность, %
Mg^{2+}	1	97±1,77
	10	93±1,73
Ca^{2+}	1	94±1,74
	10	89±1,89
Mn^{2+}	1	81±1,91
	10	42±1,32
Cu^{2+}	1	72±1,81
	10	22±1,42
Ba^{2+}	1	92±1,82
	10	87±1,67

Катионы Ba^{2+} оказывали слабое ингибирующее действие на протеазу. Таким образом, очищенная трипсиновая протеаза гриба проявляет существенные различия в чувствительности к наличию двухвалентных металлов в среде.

Многие представители рода *Fusarium* являются опасными патогенами зерновых культур. Среди этих грибов *F. graminearum* занимает особое место, поскольку отличается особой агрессивностью за счет высокой выработки ряда сильных токсинов, угнетающих рост растений и снижающих качество зерна. Другим фактором патогенности грибов, как показано в последнее время, являются протеазы, в связи с чем их изучение становится актуальным. Следует отметить, что, в отличие от бактерий и млекопитающих, грибные протеазы гораздо менее изучены.

Как известно, существует множество питательных сред, используемых при культивировании грибов. Среди них имеются варианты, специально разработанные под конкретные цели, например, для хранения и поддержания мицелиев, получения макро- и микроконидий, спор, наработки вторичных соединений, токсинов, белков и т.д., имеющих практическое значение. Однако универсальных протоколов питательных сред для продуцирования протеаз фитопатогенными грибами при научных исследованиях не существует, поэтому для каждого вида ПС и режимы культивирования подбираются индивидуально.

Анализ литературы, в целом, показывает, что чаще всего используется среда Чапека и реже Армстронга, однако при этом многими не учитывается наличие в их составе значительного количества сахарозы и нитратов. Между тем хорошо известно, что эти вещества (эффекторы) могут подавлять синтез ряда гидролитических ферментов, в т. ч. и протеаз путем катаболитной репрессии. Иными словами, накопление этих белков в культуре регулируется метаболически. В данной работе при культивировании гриба *F. graminearum* этот факт был учтен, и концентрация углевода была уменьшена до 1 %, а нитрат был вообще исключен. Добавление в ПС 1 % дрожжевого экстракта было обосновано необходимостью присутствия азотного питания и одновременно белкового индуктора синтеза и секреции протеаз. В этом отношении дрожжевой экстракт оказался более подходящим по сравнению с казеином и желатином. Внесение повышенной дозы инокулята ($3,8 \times 10^6$ конидий/100 мл) способствовало, с одной стороны, заметному укорочению срока культивирования гриба, с другой — меньшим потерям активности фермента ввиду его относительной термолабильности и способности к автолизу.

Важными представляются данные по взаимосвязи изменения рН, концентрации глюкозы и роста биомассы в культуре гриба. Четко прослеживаемые закономерности дают возможность использования этих параметров для косвенной и быстрой оценки уровня накопления протеазы в среде, поскольку измерение рН и количества глюкозы гораздо проще и быстрее, чем определение ферментной активности.

Для очистки грибных протеаз в большинстве исследований используются методы гельфильтрации и ионообменной хроматографии, довольно длительные, трудоемкие и сопровождающиеся значительными потерями фермента. В данной работе была применена более эффективная аффинная хроматография на ингибиторе трипсина сои — лиганде, высокоспецифичном для трипсиноподобных белков. Высокая степень очистки позволила установить молекулярный вес фермента и основные физико-химические свойства, необходимые для проявления его активности и взаимодействия со специфическими белками-ингибиторами.

Заключение

В результате исследований подобрана оптимальная среда для получения протеазы гриба *F. graminearum* на основе модифицированного минерального состава ПС Чапек-Докс с добавлением 1 % глюкозы и 1 % дрожжевого экстракта в качестве источника белка и индуктора синтеза фермента. Период культивирования гриба при внесении $3,8 \times 10^6$ конидий/100 мл составляет 12–14 дней, при котором секреция протеазы максимальная. Внешние условия культивирования: температура 24 °С, 12 ч режим освещения, скорость вращения качалки 120 об/мин. С помощью аффинной (биоспецифической) хроматографии из накопленного КФ была получена высокоочищенная сериновая трипсиноподобная протеаза с М.в. 24 и 27 кДа. Даны характеристики физико-химических свойств фермента — оптимумы действия, термостабильность, чувствительность к действию ионов металлов.

Оптимизация состава ПС и вносимых компонентов (глюкозы и дрожжевого экстракта), а также концентрация инокулята обоснованы отдельными экспериментами. Данные по очистке и физико-химическим свойствам трипсиновой протеазы, секретируемой грибом *F. graminearum* являются новыми и пополняют накопленные сведения по грибным протеолитическим ферментам.

Разработанные методы культивирования гриба и очистки трипсиновой протеазы могут быть использованы для поиска и идентификации их специфических ингибиторов в зерне пшеницы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» и подпрограммы 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности за счет средств Республиканского бюджета», ОР11465447, договор № 337 от 07 июля 2021 года.

References

- 1 Pessôa, M.G., Paulino, B.N., Mano, M., Neri-Numa, I.A., Molina, G., & Pastore, G.M. (2017). *Fusarium* species—a promising tool box for industrial biotechnology. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 101 (9); 3493–3511. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8255-z>
- 2 Sajeed Ali, S., & Vidhale, N.N. (2013). Protease production by *Fusarium oxysporum* in solid-state fermentation using rice bran. *Am. J. Microbiol. Res.*, 1 (3); 45–47. <https://doi.org/10.12691/ajmr-1-3-2>
- 3 Gupta, V.K., Kubicek, C.P., Berrin, J.G., Wilson, D.W., Couturier, M., Berlin, A., Filho, E., & Ezeji, T. (2016). Fungal enzymes for bio-products from sustainable and waste biomass. *Trends Biochem. Sci.*, 41 (7); 633–645. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2016.04.006>
- 4 Lowe, R.G.T., McCorkelle, O., Bleackley, M., Collins, C., Faou, P., Mathivanan, S., & Anderson, M. (2015). Extracellular peptidases of the cereal pathogen *Fusarium graminearum*. *Front. Plant Sci.*, 6 (962); 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00962>
- 5 Rawlings, N.D., Morton, F.R., Kok, C.Y., Kong, J., & Barrett, A.J. (2008). MEROPS: the peptidase database. *Nucleic Acids Res.*, 36 (Database issue); 320–325. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm954>
- 6 Dubovenko, A.G., Dunaevsky, Y.E., Belozersky, M.A., Oppert, B., Lord, J.C., & Elpidina, E.N. (2010). Trypsin-like proteins of the fungi as possible markers of pathogenicity. *Fungal Biol.*, 114 (2–3); 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2009.11.004>
- 7 Chandrasekaran, M., Thangavelu, B., Chun, S.C., & Sathiyabama, M. (2016). Proteases from phytopathogenic fungi and their importance in phytopathogenicity. *J. Gen. Plant Pathol.*, 82 (5); 233–239. <https://doi.org/10.1007/s10327-016-0672-9>
- 8 Eggert, K., Rawel, H.M., & Pawelzik, E. (2011). In vitro degradation of wheat gluten fractions by *Fusarium graminearum* proteases. *Eur. Food Res. Technol.*, 233 (4); 697–705. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1566-x>
- 9 Mosolov, V.V., & Valueva, T.A. (2005). Proteinase inhibitors and their function in plants: A review. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 41 (3); 227–246. <https://doi.org/10.1007/s10438-005-0040-6>
- 10 Pekkarinen, A.I., Longstaff, C., & Jones, B.L. (2007). Kinetics of the inhibition of *Fusarium* serine proteinases by barley (*Hordeum vulgare* L.) inhibitors. *J. Agric. Food Chem.*, 55 (7); 2736–2742. <https://doi.org/10.1021/jf0631777>
- 11 Ortega, L.M., Kikot, G.E., Astoreca, A.L., & Alconada, T.M. (2013). Screening of *Fusarium graminearum* isolates for enzymes extracellular and deoxynivalenol production. *J. Mycol.*, 2013 (358140); 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/358140>
- 12 Tsuchida, O., Yamagata, Y., Ishizuka, T., Arai, T., Yamada, J.-I., Takeuchi, M., & Ichishima, E. (1986). An alkaline proteinase of an alkalophilic *Bacillus* sp. *Curr. Microbiol.*, 14 (1); 7–12. <https://doi.org/10.1007/bf01568094>
- 13 Ibrahim-Granet, O., & Bertrand, O. (1996). Separation of proteases: old and new approaches. *J. Chromatogr. B Biomed. Appl.*, 684 (1–2), 239–263. [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(96\)00102-8](https://doi.org/10.1016/0378-4347(96)00102-8)
- 14 Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.*, 227 (5259); 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- 15 Fortelius, C., & Markkanen, P. (2000). Nutritional regulation of proteinase production in the fungus, *Tritirachium album*. *J. Ind. Microbiol.*, 24 (6), 369–373. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000012>

Ә.О. Абайлдаев, В.А. Кузовлев, А.А. Хакимжанов

Фитопатогенді *Fusarium graminearum* саңырауқұлағының протеазасын өндіру үшін қоректік ортаны оңтайландыру және ферменттің сипаттамасы

Дәнді дақылдардың саңырауқұлақ ауруларына төзімділігін арттырудың заманауи бағыттарының бірі — патогендердің гидролитикалық аскорыту ферменттерін және олардың астықтағы ақуыз ингибиторларын зерттеу. Бұл зерттеуде фермент синтезінің индукторы ретінде 1 % глюкоза мен 1 % ашытқы сығындысынан тұратын *Fusarium graminearum* фитопатогендік саңырауқұлағының протеазасын алу үшін оңтайлы қоректік орта анықталған. $3,8 \times 10^6$ конидий/100 мл енгізу кезінде саңырауқұлақты өсіру кезеңі 12–14 күнді құрайды, бұл кезде протеаза синтезі максималды болады. Ұсынылған ДДС-электрофорез деректері бойынша 24 М.в және 27 кДа екі ақуыздан афиндік (биоарнайылығы) хроматография әдісімен препараттық мөлшерде алынған ФК-дан экстрацеллюлярлы серинді трипсин тәрізді протеаза тазартылды. Белсенділік пен белок ингибиторларымен әрекеттесу үшін маңызды ферменттің негізгі физика-химиялық қасиеттері, яғни рН және температураның оптималдылығы, термиялық тұрақтылық және металл иондарына сезімталдылығы анықталды. *F. graminearum* трипсин протеазасына арналған бұл сипаттамалар алғаш рет келтірілген. Зерттеу нәтижелерін бидай сорттарының саңырауқұлақ инфекциясына төзімділігін бағалауда қолдану үшін қорғаныс белоктары ретінде дәндегі протеазалардың ерекше ингибиторларын іздеуде пайдалануға болады.

Кілт сөздер: *Fusarium graminearum*, қоректік ортаны оңтайландыру, дақылдық сүзгі, трипсин тәрізді протеаза, тазарту, физика-химиялық қасиеттер.

A.O. Abaildayev, V.A. Kuzovlev, A.A. Khakimzhanov

Optimization of the culture media for protease production by phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum* and characterization of the enzyme

One of the modern directions of increasing the resistance of cereal crops to fungal diseases is the study of hydrolytic digestive enzymes of pathogens and their protein inhibitors in grain. In this study, the optimal nutrient media for obtaining the protease of the phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum* containing 1 % of glucose and 1 % of yeast extract as an inducer of enzyme synthesis is determined. The cultivation period of the fungus with the inoculation of 3.8×10^6 conidia / 100 ml is 12–14 days, at which the synthesis of protease is maximum. By affinity (biospecific) chromatography, extracellular serine trypsin-like protease is purified from the accumulated preparative amount of cultural filtrate, represented by two proteins with MW-24 and 27-kDa according to SDS electrophoresis data. The main physicochemical properties of the enzyme important for its activity and interaction with protein inhibitors — pH and temperature optima, thermal stability, sensitivity to metal ions, are established. These characteristics for the trypsin protease of *F. graminearum* are given for the first time. The study results can be used in the search for specific protease inhibitors in grain as protective proteins for their use in assessing the resistance of wheat varieties to fungal attacks.

Keywords: *Fusarium graminearum*, nutrient media optimization, culture filtrate, trypsin-like protease, purification, physicochemical properties.

M.Zh. Akhmetova^{1*}, R.R. Nigmatullina², D.E. Tsyplakov²,
F.A. Mindubayeva³, G.M. Tykezhanova¹

¹Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan;

²Kazan State Medical University, Kazan, Russia;

³Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

*Corresponding author: meruzhan2@mail.ru

Effect of different serotonin concentrations on the inotropic function and morphometric parameters of the heart of infant rats

In recent years, studies of serotonin in physiological and pathological processes of the body have widely discussed its role as a link in the pathogenesis of atherosclerosis, arterial hypertension, and coronary heart disease. In the embryonic period, serotonin acts as a growth factor and plays an important regulatory role in the decisive period of embryo development, particularly, in the development of the heart. This research aims to study the influence of serotonin on the temporal parameters of contraction of the myocardium of the right ventricle in the newborn pups with a blockade of serotonin synthesis and membrane transporter in the embryonic period of ontogenesis. Thus, these studies have shown that the response of cardiomyocytes to serotonin is statistically higher in the group with excess serotonin and lower in the group with serotonin deficiency compared to the control group. The article also presents data indicating the change in serotonin concentration, which was created by the blockade of serotonin synthesis and the membrane transporter of serotonin in the embryonic period of ontogenesis, which results in morphological changes in the myocardium in early postnatal ontogenesis.

Keywords: serotonin, myocardium, ontogenesis, heart, fluoxetine, para-chlorophenylalanine, rat, pregnancy.

Introduction

Serotonin or 5-hydroxytryptamine (5-HT) is a neurotransmitter that plays a vital role in humans and animals. Serotonin regulates many biological processes, including the cardiovascular system. It also regulates platelet aggregation. Serotonin is produced and released and secreted into the bloodstream by enterochromaffin cells found in the gastrointestinal tract, then is rapidly absorbed and stored as miniature dense granules in platelets. Serotonin induces its physiological effects through 14 different receptor subtypes. All serotonin receptors, except for type 3, are G-protein-coupled receptors. Three types of serotonin receptors (5-HT_{1A}, 5-HT₂, and 5-HT₃) are involved in the central mechanisms of regulation of cardiovascular activity. 4 and 2B types of receptors are found in cardiomyocytes, which are involved in the regulation of myocardial contractility and affect the temporary parameters of contraction [1–4].

In humans, an abnormal serotonergic system can lead to health problems such as depression and obsessive-compulsive disorders. To treat such disorders, some drugs have been developed, including selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) [5, 6].

Parachlorophenylalanine (pCPA) is widely used as an agent to lower serotonin levels. The administration of the serotonin synthesis inhibitor, parachlorophenylalanine, in rats has been found to significantly deplete 5-HT [7].

It can be assumed that a change in the level of serotonin or blockade of its receptors during pregnancy adversely affects a number of cellular processes required for the normal formation of the heart in the fetus.

This research aims to study the effect of serotonin on the contractile function of the right ventricular myocardium in newborn rats with blockade of serotonin and membrane transporter synthesis in the embryonic period of ontogenesis.

The research objectives are as follows:

- i) To investigate the effect of blockade of serotonin synthesis and serotonin membrane transporter in the embryonic period of ontogenesis on the time of myocardial contraction in 14-day-old rats.
- ii) To study the effect of different concentrations of serotonin on the right ventricular myocardium in 14-day old rats with blockade of the membrane serotonin transporter and blockade of serotonin synthesis in the embryonic period of ontogenesis.

Experimental

The study was approved by the Ethics Committee of the Ministry of Health of the Russian Federation.

The research was carried out in the scientific laboratories of the Department of Normal Physiology and Department of General Pathology of Kazan State Medical University.

Method for determining myocardial contractility. The research object is pregnant female Wistar rats and their offspring at the age of 14 days. Starting from the 11th day of pregnancy and for 10 days in a row, the pregnant female rats were intraperitoneally injected with the following:

Group 1 (control) — saline;

Group 2 — a selective serotonin reuptake inhibitor — antidepressant fluoxetine (Fluoxetine hydrochloride, Sigma, USA) at a dosage of 50 µg/kg;

Group 3 — blocker of serotonin synthesis PCPA (4-Chloro-DL-phenylalanine, Sigma, USA) at a dosage of 100 µg/kg.

As a result, there were 2 experimental groups: i) a group of animals with a blockade of the serotonin transporter, and ii) a group of animals with a blockade of serotonin synthesis.

The research materials are the strips of the myocardium of the right ventricles.

The responses of the temporary characteristics of contraction (duration of contraction) of the right ventricular myocardium strips were evaluated to injections of serotonin (serotonin hydrochloride, Sigma, USA) at successive concentrations of 0.1 mM, 1.0 mM, and 10.0 mM.

The pre-anesthetized with urethane (800 mg/kg) hearts of rats were removed. The 2–3 mm long and 0.8–1 mm in a diameter strip were prepared from the myocardium of the right ventricle. The specimens were fixed vertically with one end to the force transducer and the other one to the point of support. Each specimen was immersed in a separate reservoir with a working solution, 25 ml in volume, injected at a temperature of 28 °C. The working solution composition for 400 ml. distilled water (gr.) is as follows: NaCl — 3.2, KCl — 0.12, CaCl₂ — 0.12, MgCl₂ — 0.05, NaHPO₄ — 0.07, cevitamic acid — 0.02, glucose — 0.8. The indicators were recorded using Chart 4.0. and Acq Knowledge 4.1. software. The signals were processed using the Elf program (developed by A.V. Zakharov).

In this experiment, the rate of myocardial contraction was determined. Since the obtained results of experiments with isolated (in vitro) cardiac muscle fibers inextricably link force with speed [8]. The rate of separation of the myosin head was identified as a key parameter affecting contractility, since it determines the time during which myosin binds to actin in the state of force creation [9]. The rate of attachment of myosin to actin, the frequency of cycles, the amount of time during which myosin attaches to actin, and the total number of myosin heads in the active state are all determinants of the development of parameters such as force (F), contraction time (T max), and relaxation time (T min) [10, 11].

These parameters are important since the discovery of many mutations in cardiomyopathy and a new generation of chemical compounds that change the “motor” kinetics of myosin and chemomechanical processes can produce different effects on the force and rate of contraction [12–14].

Thus, in our experiment, to determine myocardial contractility, parameters such as contraction time were calculated.

The reaction of the duration of contraction was calculated as a percentage of the initial value (initial parameters of the contraction time), i.e., before the introduction of the first concentration (0.1 mmol/l) of serotonin. The statistics were processed with the definition of M, m and δ ; the significance of differences has been calculated using the Student's t-test with the differences considered significant at $p < 0.05$.

Morphological studies. The preparation was fixed in the 10 % neutral formalin as per Lilly's. According to the generally accepted technique [15], after appropriate processing in the alcohols of increasing concentration, it was treated in xylene and embedded in paraffin. Leica SM 2000 R was utilized to make paraffin sections with a thickness of 4–5 µm. The resulting preparations were stained with hematoxylin and eosin, as well as picrofuxin as per Van Gieson's. The Zeiss AG Axioscope was used for microscopic examination.

S.B. Stefanov's morphometric grid of the random step was used for conducting a quantitative analysis [16]. The areas of blood vessels, connective tissue, adipose tissue, perivascular edema, interstitial edema, necrosis and myocardial muscle tissue were determined. The grid was applied directly to the micro-preparation, and the number of its intersections falling on each of the studied structures was calculated at the low magnification (eyepiece $\times 7$, lens — $\times 10$). The position of the grid along the histological section was arbitrarily changed several times, each time repeating the count. The total number of grid intersections per slice obtained as a result of the calculation was taken as 100 %. Afterwards, the number of grid intersections

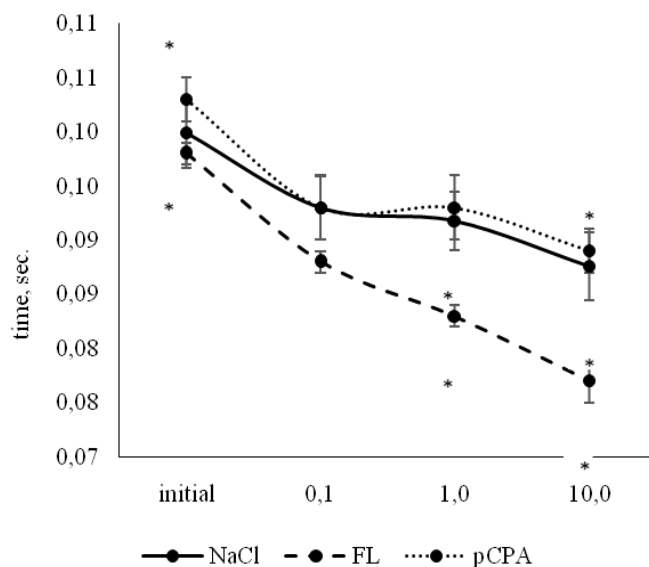
falling separately on each of the studied structures was converted into percentages accordingly. The obtained data were processed statistically with the calculation of the Student's criterion and the P value (reliability of differences).

Results

In the control group of 14-day-old rats, the initial values of the duration of contraction are 0.100 sec. At the minimum concentration of serotonin, time of myocardial contraction decreases by 0.007 (7 %) sec. compared to the initial parameters and amounts 0.093 sec. ($p < 0.05$). At concentrations of 0.1 mM and 10.0 mM, the duration of contraction is 0.092 sec. and 0.088 sec., respectively. For the last two concentrations of serotonin, there is a decrease in the time of contraction by 0.008 sec. (8 %) and 0.012 sec. (12 %) compared to the initial values ($p < 0.05$).

In the first experimental group of 14-day-old animals, the initial parameters of the contraction time are 0.098 sec. 5-HT reduces the contraction time in the concentration of 0.1 mM by 0.088 sec. and for the last two concentrations at 0.083 sec. and 0.077 sec. The myocardial contraction time is reduced in a concentration of 0.1 mM by 0.010 sec. (10 %) ($p < 0.05$), at a concentration of 1.0 mM for 0.015 sec. (15 %) ($p < 0.05$) and at a concentration of 10.0 mM for 0.21 sec. (21 %) ($p < 0.05$) compared with the initial parameters. The time of myocardial contraction in the maximum concentration of serotonin compared to the minimum concentration is reduced by 0.011 sec. (11 %); compared with a concentration of 1.0 mM for 0.006 sec. (6 %) ($p < 0.05$). At a concentration of 1.0 mM, the myocardial contraction time is 0.005 sec. lower compared to a concentration of 0.1 mM. (5 %) ($p < 0.05$).

In the second experimental group of young rats, the initial parameters of the contraction time are 0.103 sec. At a concentration of 0.1 mM and 1.0 mM, the myocardial contraction time is the same and reaches 0.093 sec. For the highest concentration of serotonin, the time is 0.089 sec. At concentrations of 0.1 mM and 1.0 mM, the myocardial contraction time decreases by 0.010 sec. (10 %) and in a concentration of 10.0 mM for 0.014 sec. (14 %) ($p < 0.05$) compared to the initial values. At the maximum concentration of 5-HT, there is a statistically significant decrease in the myocardial contraction time compared to concentrations of 0.1 mM and 1.0 mM by 0.004 sec. (4 %) ($p < 0.05$) (Fig. 1).



* — Statistically significant differences compared to the initial data (* $p < 0.05$).
NaCl — saline; FL — fluoxetine; pCPA — para-chlorophenylalanine

Figure 1. Effect of serotonin on the time of myocardial contraction in 14-day-old infant rats

It was found that the histological picture of the myocardium in both experimental groups differs from the control group. At the same time, the detected changes in these groups are almost identical. Thus, changes in the circulatory microvasculature are dominant. The total area of blood vessels increases up to 6.59 ± 0.30 % in the first group and up to 6.44 ± 0.27 % in the second one (Tab. 1). The vessels are full-blooded with their lumen expanded and perivascular edema observed (Fig. 1). The edema's area is 6.48 ± 0.46 % and

7.04±0.85 %, respectively. There is a sporadic release of blood cells outside the vascular bed (Fig. 2). In the lymphatic vessels one could observe the phenomena of lymphostasis (Fig. 3). Along the area of 9.62±1.15 % in the 1-group and 10.20±1.22 % in the 2-group, there is a pronounced interstitial edema with discomplexation of muscle fibers (Fig. 4). In the stroma of the myocardium, some small focal lymphohistiocytic infiltrates are detected (Fig. 5). In some observations, micronecrosis of cardiomyocytes is detected, occupying an area of 2.46±0.10 % and 3.00±0.19 % (Fig. 6).

Table 1

Areas of the structural components of the myocardium (% , M±m)

Variant	Blood vessels	Connective tissue	Adipose tissue	Perivascular edema	Interstitial edema	Necrosis	Muscle tissue
<i>Control group</i>	3.31±0.17	10.24±1.09	1.45±0.17	1.29±0.09	3.54±0.21	–	80.17±4.86
<i>I experimental group</i>	6.59±0.30	11.05±1.48	4.57±0.75	6.48±0.46	9.62±1.15	2.46±0.10	59.23±3.14
<i>II experimental group</i>	6.44±0.27	10.31±1.13	5.50±0.82	7.04±0.85	10.20±1.22	3.00±0.19	57.51±2.94

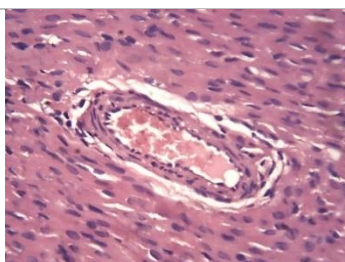


Figure 1. Vascular congestion and perivascular edema

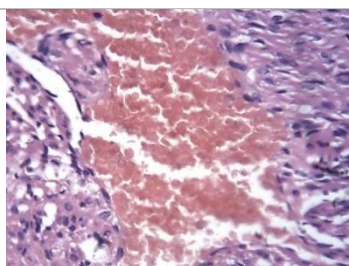


Figure 2. Outflow of blood corpuscles outside the vascular bed

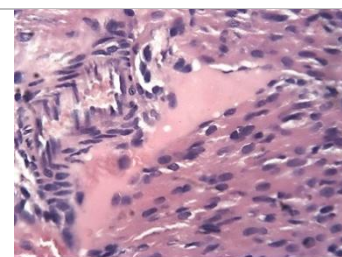


Figure 3. Lymphostasis

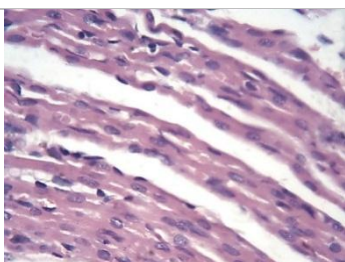


Figure 4. Interstitial edema with muscle fiber discomplex

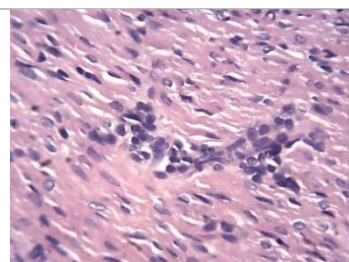


Figure 5. Focal lymphohistiocytic infiltrate

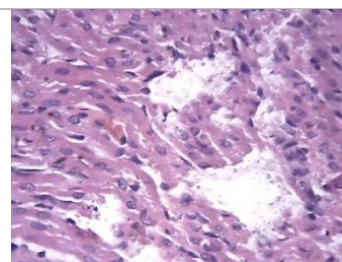


Figure 6. Foci of micronecrosis in the myocardium

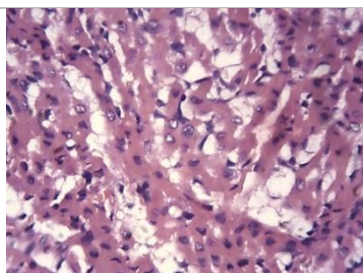


Figure 7. Areas of adipose tissue between muscle fibers

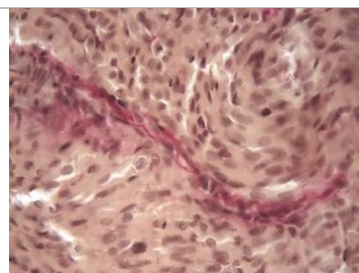


Figure 8. Connective tissue fibers in the myocardial stroma

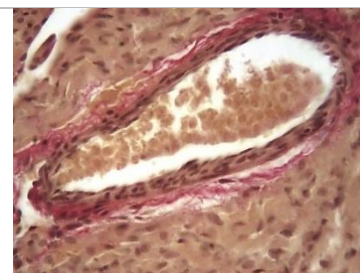


Figure 9. Connective tissue fibers in the myocardial stroma

There are sporadic extensive areas of adipose tissue between the muscle fibers (4.57±0.75 % and 5.50±0.82 %) (Fig. 7). Meanwhile, the volume of connective tissue does not differ from the control one (11.05±1.48 % and 10.31±1.13 %). The Van Gieson's staining reveals its fibers in the stroma of the organ (Fig. 8). Some minor sclerosis of the vascular walls can only be noted in some cases (Fig. 9).

Discussion

In the experimental group with blockade of the serotonin transporter, the shortest significant time of myocardial contraction has been found in comparison with other groups. This might be due to the blockade of serotonin transporter in the embryonic period, as a result of which there could be an increase in 5-HT in this group of animals. The largest number of serotonin receptors is activated, which possibly has led to a rapid contraction of the myocardium.

In the early postnatal period of rats, the adrenergic innervation of the heart is immature. It becomes important to maintain the inotropic function due to other non-adrenergic mechanisms, in particular serotonin ones [17].

The 5-HT₄ receptor signaling is similar beta-adrenergic receptors, and induces inotropic effects through a pathway involving cAMP and PKA-mediated phosphorylation of proteins that leads to an increase in Ca²⁺. It has been shown that the 5-HT_{2B} serotonin receptor is critically important during embryogenesis, since knockout of this gene in rats causes heart defects and embryonic lethality, which makes further analysis of other types of embryonic cells and tissues difficult. The 5-HT_{2B} receptor modulates many secondary signals (mitogenic and morphogenetic cascades). The 5-HT_{2B} receptor activates Ras and kinases regulated by extracellular signals and mitogen-activated protein kinase via G_{αq} and G_{βγ}. The activation of this mechanism leads to 5-HT-induced cell proliferation [1, 2, 17].

In the experimental group with blockade of serotonin synthesis, the smallest reduction in contraction time is observed compared to other groups. This may be due to the interference of the full formation of the necessary serotonin in the embryonic period, which may cause structural rearrangements of calcium channels, as well as their insufficient formation. The relationship between the level of 5-HT in the embryonic period of ontogenesis and the functioning of Ca²⁺ channels of the membrane of cardiomyocytes and sarcoplasmic reticulum in newborn rats has been established [18].

In the histological studies of the right ventricle of the heart, it was found that a change in the concentration of serotonin in prenatal ontogenesis resulted in some morphological changes in the myocardium in the experimental animals compared to the control group. The excess or deficiency of serotonin in prenatal ontogenesis may have led to impaired function of serotonin receptors. In the experiments aimed at cultivating mouse embryos, those antagonists with a high affinity for the 5-HT_{2B}, such as ritanserin, caused morphological abnormalities in the heart (disorderly arrangement of myocytes, dilatation of the left ventricle, decreased diastolic function). During the formation of the heart, they lead to abnormal organization of the sarcomeres of the subepicardial layer and to the absence of myocardial trabeculosis [19]. Such morphological changes in the right ventricular myocardium in the experimental groups might have affected the normal contraction of cardiomyocytes in the postnatal ontogenesis. It should be noted that cardiac changes undergo significant morphological changes at the level of cardiomyocytes.

Conclusion

The heart begins to function at an early stage of development under the action of changing mechanical stimuli in the womb, the greatest growth and reorganization of cells. The given research shows that the blockade of the transporter and synthesis of serotonin in prenatal ontogenesis results in a shift in the inotropic function of cardiomyocytes in early postnatal ontogenesis, which is due to a change in the time of contraction by increasing concentrations of serotonin in the experimental groups versus the control group as well as morphological defects in the heart in the experimental groups.

The cardiovascular effects of serotonin are complex, and its contribution to the physiological and pathological processes of the myocardium remains insufficiently understood.

Acknowledgements

This work was supported by grant funding for a scientific project: "Clinico-physiological basis for the method of early diagnosis of pulmonary hypertension in infants" № AP05136034.

References

- 1 Berger M. The expanded biology of serotonin / M. Berger, J. Gray, B. Roth // Annual review of medicine. — 2009. — No. 60. — P. 355–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.60.042307.110802>

- 2 McCorvy J.D. Structure and function of serotonin G protein-coupled receptors / J.D. McCorvy, B.L. Roth // *Pharmacology & Therapeutics*. — 2015. — No. 150. — P. 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.01.009>
- 3 Sharp T. Central 5-HT receptors and their function; present and future / T. Sharp, N. Barnes // *Neuropharmacology*. — 2020. — Vol. 6, No. 177. — P. 108–155. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2020.108155>
- 4 Redpath G. Serotonin: an overlooked regulator of endocytosis and endosomal sorting? / G. Redpath, N. Deo // *Biol Open*. — 2022. — Vol. 11, No. 1. — P. 1–13. <https://doi.org/10.1242/bio.059057>
- 5 Vemacor A. Selective serotonin reuptake inhibitor use of antidepressants in the first trimester of pregnancy and the risk of specific congenital anomalies: a study based on European registries / A. Vemacor, K. Casson, E. Garne, M. Bakker, M.S. Addor, L. Arriola // *Eur J Epidemiol*. — 2015. — No. 30. — P. 1187–1198. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0065-y>
- 6 Edinoff A. Selective Serotonin Reuptake Inhibitors and Adverse Effects: A Narrative Review / A.N. Edinoff, H.A. Akuly, T.A. Hanna, C.O. Ochoa, S.J. Patti, Y.A. Ghaffar, O. Viswanath, I. Urits, A.G. Boyer, E.M. Cornett, A.M. Kaye // *Neurol Int*. — 2021. — Vol. 13, No. 3. — P. 387–401. <https://doi.org/10.3390/neurolint13030038>
- 7 Theron J.J. The effect of a serotonin inhibitor on the serotonin content and ultra-structure of rat atria and ventricles with special reference to atrial granules / J.J. Theron, R. Biagio, A.C. Meyer, S. Boekkooi, J.C. Seegers // *Life Sciences*. — 1978. — Vol. 23, No. 2. — P. 111–119. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(78\)90258-8](https://doi.org/10.1016/0024-3205(78)90258-8)
- 8 Muir W. Myocardial Contractility: Historical and Contemporary Considerations / W. Muir, R. Hamlin // *Front Physiol*. — 2020. — Vol. 11, No. 222. — P. 20–31. <https://doi.org/10.3389/fphys>
- 9 Liu C. Controlling load-dependent kinetics of β -cardiac myosin at the single-molecule level / C. Liu, M. Kawana, D. Song, K.M. Ruppel, J.A. Spudich // *Nat. Struct. Mol. Biol*. — 2018. — No. 25. — P. 505–514. <https://doi.org/10.1038/s41594-018-0069-x>
- 10 Greenberg M.J. Inherent force-dependent properties of β -cardiac myosin contribute to the force-velocity relationship of cardiac muscle / M.J. Greenberg, H. Shuman, E.M. Ostap // *Biophys. J*. — 2014. — Vol. 107, No. 12. — P. 1041–1044. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2014.11.005>
- 11 Sweeney H.L. Muscle contraction / H.L. Sweeney, D.W. Hammers // *Cold SpringHarb. Perspect. Biol*. — 2018. — Vol. 10, No. 2. — P. 232–238. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a023200>
- 12 Tardiff J.C. Targets for therapy in sarcomeric cardiomyopathies / J.C. Tardiff, L. Carrier, D.M. Bers, C. Poggesi, C. Ferrantini, R. Coppini, L.S. Maier, H. Ashrafian, S. Huke, J. van der Valden // *Cardiovasc. Res*. — 2015. — No. 105. — P. 457–470. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvv023>
- 13 Malik F.I. Cardiac myosin activation: a potential therapeutic approach for systolic heart failure / F.I. Malik, J.J. Hartman, K.A. Elias, B.P. Morgan, H. Rodriguez, K. Brejc, et al. // *Science*. — 2011. — Vol. 331, No. 6023. — P. 1439–1443. <https://doi.org/10.1126/science.1200113>
- 14 MacLeod K.T. Recent advances in understanding cardiac contractility in health and disease / K.T. MacLeod // *Browse Faculty Reviews*. — 2016. — No. 5. — P. 1–13. <https://doi.org/10.12688/f1000research.8661>
- 15 Саркисов Д.С. Микроскопическая техника: руководство для врачей и лаборантов / Д.С. Саркисов, Ю.Л. Перов. — М.: Медицина, 1996. — 544 с.
- 16 Стефанов С.Б. Морфометрическая сетка случайного шага как средство ускоренного измерения элементов морфогенеза / С.Б. Стефанов // *Цитология*. — 1974. — № 6. — С. 785–787.
- 17 Ахметзянов В.Ф. Возрастные особенности инотропного влияния серотонина на миокард крысы / В.Ф. Ахметзянов, А.Ф. Якупова, Р.Р. Нигматуллина // *Казан. мед. журн*. — 2010. — Т. 91, № 4. — С. 467–471.
- 18 Недорезова Р.С. Влияние блокаторов Ca^{2+} -каналов дантролена и метоксиферапамила на инотропную функцию миокарда крысы с измененным уровнем серотонина / Р.С. Недорезова, Т.В. Гарипов, Р.Р. Нигматуллина // *Ученые записки Казан. гос. акад. ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. — 2019. — Т. 240, № 4. — С. 123–127. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-123-128>
- 19 Choi D.S. 5-HT_{2B} receptor-mediated serotonin morphogenetic functions in mouse cranial neural crest and myocardial cells / D.S. Choi, S. Ward, N. Messaddeq, J.M. Launay, L. Maroteaux // *Development*. — 1997. — Vol. 124, No. 9. — P. 1745–55. <https://doi.org/10.1242/dev.124.9.1745>

М.Ж. Ахметова, Р.Р. Нигматуллина, Д.Э. Цыплаков,
Ф.А. Миндубаева, Г.М. Тыкежанова

Серотониннің түрлі концентрацияларының егеуқұйрық күшіктерінің жүрегінің инотропты қызметіне және морфометриялық көрсеткіштеріне әсері

Соңғы жылдары ағзаның физиологиялық және патологиялық үрдістеріне серотониннің әсерін зерттеу жұмыстарында оның атеросклероздың, артериялық гипертензияның және жүректің ишемиялық ауруының патогенезі ретіндегі рөлі кеңінен талқылануда. Дамудың эмбрионалды кезеңінде серотонин өсу факторы ретінде әрекет ете отырып, эмбрион дамуының шешуші кезеңінде, атап айтқанда, жүректің дамуында маңызды реттеуші рөл атқарады. Біздің зерттеуіміздің максаты онтогенездің эмбрионалды кезеңінде серотонин синтезінің және мембраналық тасымалдаушысының блокадасы жасалынған жаңа туған егеуқұйрық күшіктерінің оң жақ қарынша миокардының жиырылуының

уақыт көрсеткіштеріне серотониннің әсерін зерттеу. Зерттеу нәтижесінде, бақылау тобымен салыстырғанда серотонин мөлшері жоғары болған эксперименттік топта серотонинге кардиомиоциттердің реакциясы статистикалық жоғары және серотонин тапшылығы бар топта төмен екендігі анықталды. Сонымен қатар, онтогенездің эмбрионалды кезеңінде серотонин синтезі мен мембраналық тасымалдаушысының тежеуі арқылы серотонин концентрациясының өзгеруі жасалынған эксперименттік топ жануарларында онтогенездің ерте постнаталды кезеңінде миокардтың морфологиялық өзгерістері байқалған.

Кілт сөздер: серотонин, миокард, онтогенез, жүрек, флуоксетин, пара-хлорфенилаланин, егеуқұйрық, жүктілік.

М.Ж. Ахметова, Р.Р. Нигматуллина, Д.Э. Цыплаков,
Ф.А. Миндубаева, Г.М. Тыкежанова

Влияние разных концентраций серотонина на инотропную функцию и морфометрические показатели сердца крысят

За последние годы в исследованиях серотонина в физиологических и патологических процессах организма широко обсуждают его роль как звена в патогенезе атеросклероза, артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца. В эмбриональном периоде серотонин выступает в качестве фактора роста и играет важную регулирующую роль в решающий период развития эмбриона, в частности, развития сердца. Целью нашего исследования явилось изучение влияния серотонина на временные параметры сокращения миокарда правого желудочка у новорожденных крысят с блокадой синтеза серотонина и мембранного переносчика в эмбриональном периоде онтогенеза. Наши исследования показали, что реакция кардиомиоцитов на серотонин статистически выше в группе с избытком серотонина и ниже в группе с дефицитом серотонина по сравнению с группой контроля. В настоящей работе приведены данные, свидетельствующие о том, что изменение концентрации серотонина, которое создавалось блокадой синтеза серотонина и мембранного переносчика серотонина в эмбриональном периоде онтогенеза, приводит к морфологическим изменениям миокарда в раннем постнатальном онтогенезе.

Ключевые слова: серотонин, миокард, онтогенез, сердце, флуоксетин, пара-хлорфенилаланин, крыса, беременность.

References

- 1 Berger, M., Gray, J., & Roth, B. (2009). The expanded biology of serotonin. *Annual review of medicine*, 60; 355–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.60.042307.110802>
- 2 McCorvy, J.D., & Roth, B.L. (2015). Structure and function of serotonin G protein-coupled receptors. *Pharmacology & Therapeutics*, 150; 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.01.009>
- 3 Sharp, T., & Barnes, N. (2020). Central 5-HT receptors and their function; present and future. *Neuropharmacology*, 6, 177; 108–155. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2020.108155>
- 4 Redpath, G., & Deo, N. (2022) Serotonin: an overlooked regulator of endocytosis and endosomal sorting? *Biol Open*, 11, 1; 1–13. <https://doi.org/10.1242/bio.059057>
- 5 Vemacor, A., Casson, K., Garne, E., Bakker, M., Addor, M.S., & Arriola, L. (2015). Selective serotonin reuptake inhibitor use of antidepressants in the first trimester of pregnancy and the risk of specific congenital anomalies: a study based on European registries. *Eur J Epidemiol.*, 30; 1187–1198. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0065-y>
- 6 Edinoff, A.N., Akuly H.A., Hanna T.A., Ochoa C.O., Patti S.J., Ghaffar Y.A., Kaye, A.D., Viswanath, O., Urits, I., Boyer, A.G., Cornett, E.M., & Kaye, A.M. (2021). Selective Serotonin Reuptake Inhibitors and Adverse Effects: A Narrative Review. *Neurol Int.*, 13, 3; 387–401. <https://doi.org/10.3390/neurolint13030038>
- 7 Theron, J.J., Biagio, R., Meyer, A.C., Boekkooi, S., & Seegers, J.C. (1978). The effect of a serotonin inhibitor on the serotonin content and ultra-structure of rat atria and ventricles with special reference to atrial granules. *Life Sciences*, 23, 2; 111–119. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(78\)90258-8](https://doi.org/10.1016/0024-3205(78)90258-8)
- 8 Muir, W., & Hamlin, R. (2020). Myocardial Contractility: Historical and Contemporary Considerations. *Front Physiol.*, 11, 222; 20–31. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00222>
- 9 Liu, C., Kawana, M., Song, D., Ruppel, K.M., & Spudich, J.A. (2018). Controlling load-dependent kinetics of β -cardiac myosin at the single-molecule level. *Nat. Struct. Mol. Biol.*, 25; 505–514. <https://doi.org/10.1038/s41594-018-0069-x>
- 10 Greenberg, M.J., Shuman, H., & Ostap, E.M. (2014). Inherent force-dependent properties of β -cardiac myosin contribute to the force-velocity relationship of cardiac muscle. *Biophys. J.*, 107, 12; 1041–1044. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2014.11.005>

- 11 Sweeney, H.L., & Hammers, D.W. (2018). Muscle contraction. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, 10, 2; 232–238. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a023200>
- 12 Tardiff, J.C., Carrier, L., Bers, D.M., Poggesi, C., Ferrantini, C., Coppini, R., Maier, L.S., Ashrafian, H., Huke, S., & van der Velden, J. (2015). Targets for therapy in sarcomeric cardiomyopathies. *Cardiovasc. Res.*, 105; 457–470. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvv023>
- 13 Malik, F.I., Hartman, J.J., Elias, K.A., Morgan, B.P., Rodriguez, H., Brejc, K., et al. (2011). Cardiac myosin activation: a potential therapeutic approach for systolic heart failure. *Science*, 331; 1439–1443. <https://doi.org/10.1126/science.1200113>
- 14 MacLeod, K.T. (2016). Recent advances in understanding cardiac contractility in health and disease. *Browse Faculty Reviews*, 5; 1–13. <https://doi.org/10.12688/f1000research.8661>
- 15 Sarkisov, D.S., & Perov, Yu.L. (1996). Mikroskopicheskaia tekhnika: rukovodstvo dlia vrachei i laborantov [*Microscopic technique: a guide for physicians and laboratory technicians*]. Moscow: Meditsina, 544 [in Russian].
- 16 Stefanov, S.B. (1974). Morfometricheskaia setka sluchainogo shaga kak sredstvo uskorenogo izmereniia elementov morfogeneza [Morphometric grid of random step as a means of accelerated measurement of elements of morphogenesis]. *Tsitologiya — Cytology*, 6; 785–787 [in Russian].
- 17 Akhmetzianov, V.F., Yakupova, A.F., & Nigmatullina, R.R. (2010). Vozrastnye osobennosti inotropnogo vliianiia serotonina na miokard krysy [Age-related features of inotropic effect of serotonin on rat myocardium]. *Kazanskii meditsinskii zhurnal — Kazan Medical Journal*, 91, 4; 467–471 [in Russian].
- 18 Nedorezova, R.S., Garipov, T.V., & Nigmatullina, R.R. (2019). Vliianie blokatorov Ca²⁺-kanalov dantrolena i metoksiverapamila na inotropnuiu funktsiiu miokarda krysiat s izmenennym urovnem serotonina [Influence of dantrolene and methoxiverapamil channels Ca²⁺-channels on the rating myocardial function of rats with changed serotonin level]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny imeni N.E. Baumana — Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 240, 4; 123–127 [in Russian]. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-123-128>
- 19 Choi, D.S., Ward, S., Messaddeq, N., Launay, J.M., & Maroteaux, L. (1997). 5-HT_{2B} receptor-mediated serotonin morphogenetic functions in mouse cranial neural crest and myocardial cells. *Development*, 124, 9; 1745–1755. <https://doi.org/10.1242/dev.124.9.1745>

М.М. Аралбаева*, Н.В. Михайленко, С.В. Кушнарченко

Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: berim.moldir@mail.ru

Разработка способа укоренения побегов грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro*

Биотехнологии *in vitro* широко используются для сохранения биологического разнообразия и производства высококачественного посадочного материала. Основная проблема, затрудняющая разработку микроклонального размножения орехоплодных культур, связана с их низкой способностью к корнеобразованию в условиях *in vitro* и долгим периодом адаптации растений при переносе в почвенный субстрат. В качестве объектов исследования были использованы асептические побеги сортов и дикорастущих форм *Juglans regia* L. и *Corylus avellana* L., размноженные в культуре *in vitro*. Было проведено сравнение двух способов укоренения побегов лесного и грецкого орехов в культуре *in vitro*. Для грецкого ореха применение двухэтапного способа укоренения на агаризованной среде Мурасиге-Скуга с высокими концентрациями индолмасляной кислоты (10 мг/л) и сахарозы (60 г/л) (I способ) позволило в среднем получить 68,6 % укорененных растений. Второй способ укоренения при замене агара на вермикулит оказался наиболее эффективным для лесного ореха, при этом 91,3 % побегов *Corylus avellana* укоренялось в условиях *in vitro*. Адаптация растений лесного ореха к условиям теплицы проходила успешно, 91,8 % растений продолжили развитие. У грецкого ореха 28,6 % растений адаптировались к почвенному субстрату.

Ключевые слова: *Juglans regia*, *Corylus avellana*, грецкий орех, лесной орех, микроклональное размножение, укоренение *in vitro*, адаптация растений к тепличным условиям.

Введение

Грецкий орех (*Juglans regia* L.) и лещина обыкновенная (лесной орех, фундук) (*Corylus avellana* L.) — наиболее ценные и популярные орехоплодные культуры. *Juglans regia* относится к семейству Ореховые (*Juglandaceae* A. Rich. ex Kunth), в Казахстане этот вид охраняется на территории Сайрам-Угамского государственного национального природного парка, где имеется естественная популяция в Угамском очаге [1, 2]. *Corylus avellana* относится к семейству Березовые (*Betulaceae* S.F. Gray), в Казахстане зарегистрирована единственная популяция лесного ореха по левобережью реки Урал (Жайык), в связи с чем вид занесен в Красную книгу Казахстана [3], как очень редкий, находящийся под угрозой исчезновения.

В последнее десятилетие усилилась работа по развитию ореховодства в нашей стране, создана «Казахстанская ассоциация производителей и переработчиков орехов и ягод», увеличиваются площади промышленных ореховых садов на юге и юго-востоке республики. Для успешного выращивания орехоплодных культур необходимо использование качественного посадочного материала, в том числе высокопродуктивных сортов, приспособленных к почвенно-климатическим условиям региона. Традиционно орех грецкий размножают семенами или вегетативно путем окулировки и прививки. Преимущество семенного размножения заключается в том, что выращенные из семян дерева ореха грецкого более долговечны и устойчивы к болезням. Но при семенном размножении растения не всегда наследуют материнские признаки, позже вступают в фазу плодоношения. Размножение с помощью прививки — это очень трудоемкая процедура, при котором необходим контроль чистоты подвойного и привойного материала в отношении бактериальных и грибных патогенов. Очень трудно размножить орехи черенкованием из-за низкого процента укоренения черенков. В связи с этим актуальным является разработка технологии микроклонального размножения орехов для производства посадочного материала в течение круглого года. Технологии размножения *in vitro* грецкого и лесного орехов могут быть использованы для сохранения биологического разнообразия этих важных продовольственных культур, а также для получения высококачественного посадочного материала для фермерских и питомниководческих хозяйств страны.

Работа по микроклональному размножению грецкого и лесного орехов проводится в различных странах: в США [4–6], Иране [7–9], Испании [10], Японии [11], Украине [12, 13]. Недавно была опуб-

ликвана работа казахстанских ученых совместно с испанскими коллегами по микроклональному размножению грецкого ореха [14]. Основной проблемой, с которой сталкиваются исследователи, является низкий процент укоренения побегов орехоплодных культур в условиях *in vitro* и трудности, связанные с акклиматизацией растений при переносе в почвенный субстрат. Для повышения процента формирования корней во многих статьях предлагается двухэтапное укоренение побегов, при этом на первом этапе используются высокие концентрации ауксинов и источников углерода (сахароза), на втором — безгормональная среда и сниженная концентрация углеводов [7, 10, 12, 15]. Выявлено, что многие факторы влияют на эффективность укоренения. Так, снижение в 2–4 раза концентрации макроэлементов благоприятно сказывалось на развитии корней [12, 15]. Лучший эффект на ризогенез побегов грецкого ореха оказывала индолилмасляная кислота (ИМК) по сравнению с индолилуксусной кислотой или 1-нафтилуксусной кислотой [7, 10]. Значительный эффект оказывали также источники железа и углерода в питательной среде. Замена традиционно используемого хелата железа (FeEDTA), в котором железо находится в двухвалентном состоянии, на натриевую соль трехвалентного железа (FeEDDHA) приводила к гораздо более высокому проценту укоренения грецкого ореха [10]. Во многих работах по микроклональному размножению орехоплодных культур в качестве основного источника углерода обычно используется сахароза [10, 16, 17]. Сравнение действия трех углеводов: сахарозы, глюкозы и фруктозы в составе питательных сред показало, что фруктоза несколько повышала процент укоренения у некоторых генотипов грецкого ореха (63,3–95,0 %) по сравнению с сахарозой (48,5–95,2 %) и глюкозой (61,4–90,1 %), однако акклиматизация и выживание растений в теплице проходили быстро, если укоренение происходило на среде с глюкозой [10]. Одним из наиболее сложных этапов в производстве саженцев является перевод укорененных пробирочных растений в нестерильные условия. На адаптацию укорененных побегов в почвенном субстрате влияют многие физические факторы, такие как температура, влажность воздуха, интенсивность освещения и др. В качестве компонентов грунта используют готовые почвосмеси, чернозем, торф, перлит, вермикулит, песок, опилки и т.д. в различных сочетаниях и пропорциях [18].

Целью данного исследования являлась разработка способа укоренения побегов *Juglans regia* и *Corylus avellana* в условиях *in vitro*.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования являлись побеги грецкого и лесного орехов, размноженные в культуре *in vitro*. В данной работе были использованы четыре образца грецкого ореха (три образца, отобранные из фермерских хозяйств Алматинской области (Jug 012, Jug 013 и Jug 014), один образец (№ 16) — из дикорастущей популяции на территории Сайрам-Угамского государственного национального природного парка, а также три образца лесного ореха (два — из природной популяции, охраняемой в Государственном ботаническом заказнике «Дубрава», и один сорт итальянской селекции Тонда Романа (Tonda Romana). Плоды дикорастущих образцов были собраны во время научных экспедиций в 2018 году [19, 20]. Для получения побегов *in vitro* из дикорастущих образцов в качестве эксплантов были использованы изолированные зародышевые оси [21]; сорта вводились в культуру *in vitro* с использованием апексов побегов по методу, описанному ранее [22]. Побеги грецкого ореха размножали на среде Driver and Kuniyuki (DKW) [23] с добавлением 1 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП), 0,01 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК), 30 г/л сахарозы, pH 5,7; лесного ореха — на среде DKW того же состава, но с увеличенной в 1,5 раза концентрацией микроэлементов. Побеги *in vitro* культивировали при температуре 24 ± 1 °C, освещенности 40 мкмол·м⁻²·с, 16/8-часовом фотопериоде.

Для размноженных в культуре *in vitro* побегов, достигших 4–5 см высоты, были испытаны два способа их укоренения. Первый способ укоренения — на основе разработок Института клеточной биологии и генетической инженерии Украины [12] с небольшими модификациями. Он представляет собой двухэтапный метод укоренения побегов, на первом этапе которого стимулировали корнеобразование в темноте на жидкой питательной среде Мурасиге-Скуга (МС) [24] (с полным составом макроэлементов или с уменьшенной вчетверо концентрацией макроэлементов), в присутствии высоких концентраций ауксина — ИМК (10 мг/л) и сахарозы (60 г/л). На втором этапе побеги переносили на безгормональную МС среду со стандартным минеральным составом и обычной концентрацией сахарозы (табл. 1).

Второй способ укоренения побегов *in vitro* проводили с использованием среды DKW. Он также представлял собой двухэтапный метод укоренения побегов, на первом этапе которого стимулировали корнеобразование в темноте на питательной среде DKW в присутствии высоких концентраций ИМК.

Второй этап заключался в удалении ауксина и замене агара на вермикулит [10] (табл. 1). Был использован вермикулит марки 150, с размером зерен от 0,6 до 5 мм (производство России), который добавляли по 30 г в каждую мадженту и заливали 60 мл жидкой среды DKW.

Т а б л и ц а 1

Схема экспериментов по укоренению побегов грецкого и лесного орехов

	1 этап (длительность этапа — 5 суток)	2 этап (длительность этапа — от 3 до 6 недель)
	Темнота, 25±2С°	24±1°С, освещенность 40 мкмол-м ² с, 16/8 часовой фотопериод
I способ	Побеги культивировали на жидкой среде МС (с полным составом макроэлементов или с ¼ концентрацией макроэлементов); с 10 мг/л ИМК, 60 г/л сахарозы, рН 5,7	Побеги культивировали на среде МС (с полным минеральным составом), без добавления гормонов, с 30 г/л сахарозы, 7 г/л агара, рН 5,7
II способ	Побеги культивировали на среде DKW (с ½ концентрацией макроэлементов), с 10 мг/л ИМК, 30 г/л сахарозы, 5,5 г/л агара, рН 5,7	Побеги культивировали на жидкой среде DKW с вермикулитом, без добавления гормонов, с 30 г/л сахарозы, рН 5,7

Наблюдения за процессом корнеобразования проводили еженедельно. Укорененные побеги пересаживали в почвенный субстрат, состоявший из смеси почвы и перлита с соотношении (3:2), и переносили в пленочную теплицу в феврале–марте 2022 года. Температура в теплице варьировала от 15 до 20 °С, относительная влажность воздуха составляла 60–65 %. Первый месяц растения прикрывали пластиковыми колпаками для поддержания влаги. Через 1,5 месяца проводили подсчет адаптированных растений. В каждом варианте эксперимента использовали от 10 до 15 побегов каждого образца. Статистическую обработку проводили с использованием стандартных методов [25].

Результаты и их обсуждение

Результаты первого способа укоренения побегов грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro* представлены на рисунке 1 и в таблице 2 (I способ). Снижение концентрации макроэлементов в питательной среде МС в 4 раза благоприятно сказалось на последующем укоренении побегов грецкого ореха. Так, средний процент укоренения четырех образцов грецкого ореха составил 59,0 %, если на первом этапе их культивировали на среде со стандартной концентрацией макроэлементов, тогда как при уменьшенной концентрации макроэлементов количество укорененных побегов возросло до 68,6 % (табл. 2). Для лесного ореха такого влияния концентрации макроэлементов не было выявлено, высокие проценты наблюдали как при стандартной, так и при уменьшенной концентрации макроэлементов — 92,4 % и 87,5 %, соответственно (табл. 2). Отмечен гораздо более высокий процент укоренения образцов лесного ореха (76,9–100 %) по сравнению с грецким орехом (42,9–84,6 %). Следует отметить, что полученные нами результаты по укоренению лесного ореха значительно превышают процент укоренения, достигнутый ранее (72 %) [12]. Различия между орехоплодными культурами проявились не только в проценте укорененных побегов, но также и в скорости формирования корней в условиях *in vitro*. Образцы лесного ореха укоренились в течение 20–25 дней культивирования на безгормональной среде, тогда как для укоренения грецкого ореха потребовалось значительно больше времени — от 40 до 45 дней.

Результаты второго способа укоренения побегов грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro* представлены на рисунке 2 и в таблице 3 (II способ). Второй способ укоренения оказался гораздо более эффективным для лесного ореха по сравнению с грецким орехом. Процент укоренения образцов лесного ореха был достаточно высоким (86,7–93,85), тогда как только 6,1 % асептических побегов *Juglans regia* укоренились (табл. 3).



Побеги грецкого (а) и лесного (д) орехов на жидкой среде МС с ¼ концентрацией макроэлементов, 10 мг/л ИМК, 60 г/л сахарозы (1 этап укоренения); побеги грецкого (б) и лесного (е) орехов, пересаженные на безгормональную среду МС с 30 г/л сахарозы, 7 г агара (2 этап укоренения); корнеобразование грецкого (в) и лесного (ж) орехов на безгормональной среде МС с 30 г/л сахарозы, 7 г/л агара; укорененные побеги грецкого (з) и лесного (з) орехов в почвенном субстрате

Рисунок 1. Этапы укоренения побегов грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro* (I способ укоренения)

Т а б л и ц а 2

Влияние минерального состава среды на укоренение грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro* (I способ укоренения)

Образец	МС, стандартная концентрация макроэлементов		МС, 1/4 концентрации макроэлементов	
	Кол-во побегов, шт.	%	Кол-во побегов, шт.	%
Грецкий орех				
Jug 012	13	53,8	12	75,0
Jug 013	13	84,6	13	84,6
Jug 014	14	42,9	15	53,3
№ 16	11	54,5	13	61,5
Ср.знач.±ст.откл.		59,0±17,9 ^б		68,6±13,9 ^б
Лесной орех				
№ 9	12	91,6	13	76,9
№ 25	12	100	12	100
Tonda Romana	14	85,7	14	85,7
Ср.знач.±ст.откл.		92,4±7,2 ^а		87,5±11,7 ^{аб}

Примечание. Данные, обозначенные различными буквами, достоверно отличаются при $P \leq 0,05$.



a — побеги лесного ореха на среде DKW с добавлением 10 мг/л ИМК, 30 г/л сахарозы, 5,5 г агара (1 этап укоренения); *б* — побеги лесного на жидкой среде DKW добавлением вермикулита (2 этап укоренения); *в* — побег лесного ореха с развитой корневой системой; *г* — укорененные побеги лесного ореха в почвенном субстрате

Рисунок 2. Этапы укоренения побегов лесного ореха в культуре *in vitro* (II способ)

Т а б л и ц а 3

Укоренение грецкого и лесного орехов с использованием вермикулита (II способ)

Образец	Кол-во побегов, шт.	%
Грецкий орех		
Jug 012	10	10
Jug 013	10	0
Jug 014	15	6,7
№ 16	13	7,7
Ср.знач. ± ст. откл.		6,1±4,3 ^б
Лесной орех		
№ 9	15	93,3
№ 25	16	93,8
Tonda Romana	15	86,7
Ср.знач. ± ст. откл.		91,3±0,04 ^а
<i>Примечание.</i> Данные, обозначенные различными буквами, достоверно отличаются при $P \leq 0,05$.		

Таким образом, проведенные нами исследования позволили достичь высоких процентов укоренения грецкого и лесного орехов в культуре *in vitro*, сопоставимые с результатами предыдущих работ [7, 10, 12, 14].

Укорененные побеги грецкого и лесного орехов были перенесены в почвенный субстрат и помещены в пленочную теплицу. Проводили сравнение приживаемости растений в почве в зависимости от способа укоренения в культуре *in vitro*. Несмотря на то, что процент укоренения лесного ореха был высоким при использовании обоих способов укоренения, приживаемость растений в теплице значительно отличалась. Только 72,5 % побегов лесного ореха, укорененных в агаре (I способ), прижива-

лись в почвенном субстрате, тогда как 91,8 % побегов, укорененных в вермикулите (II способ), оставались жизнеспособными и нормально развивались в контейнерах. Этот факт объясняется, возможно, меньшим травмированием корней при использовании вермикулита, по сравнению с агаром, от остатков которого приходилось отмывать корни.

Адаптация растений грецкого ореха к тепличным условиям занимала гораздо более длительный период и была не такой эффективной, несмотря на высокий процент укоренения (42,9–84,6 %) и формирование мощных корней в культуре *in vitro*. Только 28,6 % пересаженных растений грецкого ореха прижились к тепличным условиям. Грецкий орех многими исследователями относится к трудноукореняемым культурам [9, 10]. Работа по повышению эффективности перевода растений *in vitro* грецкого ореха в почвенный субстрат будет продолжена. После адаптации посадочного материала к условиям теплицы саженцы подготовлены к переносу в полевые условия.

Заключение

Разработан способ укоренения побегов лесного и грецкого орехов в культуре *in vitro*. Для грецкого ореха использование двухэтапного способа укоренения на агаризованной среде МС с высокими концентрациями индолмасляной кислоты (10 мг/л) и сахарозы (60 г/л) (I способ) позволило достичь 68,6 % укоренения. Второй способ укоренения с применением вермикулита оказался наиболее эффективным для лесного ореха, 91,3 % побегов укоренялось в условиях *in vitro*. Адаптация растений лесного ореха к условиям теплицы проходила успешно, 91,8 % растений продолжили развитие. У грецкого ореха 28,6 % растений адаптировались к почвенному субстрату.

Работа выполнена в рамках Гранта AP08855758 «Разработка эффективной технологии микроклонального размножения коммерчески ценных сортов грецкого ореха для производства высококачественного посадочного материала, адаптированного к условиям юго-востока Казахстана».

Список литературы

- 1 Флора Казахстана / под ред. Н.В. Павлова. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. — Т. 3. — 459 с.
- 2 Джангалиев А.Д. Дикие плодовые растения Казахстана / А.Д. Джангалиев, Т.Н. Салова, Р.М. Туреханова. — Алматы: КазгосИНТИ, 2001. — 133 с.
- 3 Красная книга Казахстана. — Т.2: Растения. — 2-е изд. — Астана: ТОО «АртPrint XXI», 2014. — 452 с.
- 4 Leslie C. Micropropagation in Persian walnut (*Jugans regia* L.) / C. Leslie, G. McGranahan // In: Y.P.S. Bajaj (ed.). Biotechnology in agriculture and forestry, 18: High-tech and micropropagation II. Springer-Verlag, Berlin. — 1992. — P. 136–150. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76422-6_7
- 5 Yu X. A micropropagation system for hazelnuts (*Corylus* species) / X. Yu, B.M. Reed // HortScience. — 1995. — P. 120–123.
- 6 Hand C.R. Node position influences viability and contamination in hazelnut shoot explants / C.R. Hand, N. Wada, V. Stockwell, B.M. Reed // In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant. — 2016. — Vol. 52 (6). — P. 580–589. <https://doi.org/10.1007/s11627-016-9791-4>
- 7 Vahdati K. *In vitro*-grown shoots from mature trees of three Persian walnut cultivars / K. Vahdati, C. Leslie, Z. Zaman, G. McGranahan // HortScience. — 2004. — Vol. 39. — P. 324–327.
- 8 Vahdati K. Micropropagation of some dwarf and early mature walnut genotypes / K. Vahdati, R. Razaee, M. Mirmasoomi // Biotechnology. — 2009. — Vol. 8. — P. 171–175. <https://doi.org/10.3923/biotech.2009.171.175>
- 9 Gotea R. *In vitro* propagation of several walnut cultivars / R. Gotea, I. Gotea, R.E. Sestras, K. Vahdati // Horticulture. — 2012. — Vol. 69. — P. 167–171. <http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:8456>
- 10 Licea-Moreno R.J. Improved walnut mass micropropagation through the combined use of phloroglucinol and FeEDDHA / R.J. Licea-Moreno, A. Contreras, A.V. Morales, I. Urban, M. Daquinta, L. Gomez // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. — 2015. — Vol. 123. — P. 143–154. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0822-3>
- 11 Tetsumura T. Micropropagation of Shinano walnut (*Juglans regia* L.) / T. Tetsumura, K. Tsukuda, K. Kawase // J. Japan. Soc. Hort. Sci. — 2002. — Vol. 71 (5). — P. 661–663. <https://doi.org/10.2503/jjshs.71.661>
- 12 Патент № А 01 Н 4/00. SU 1792270 А3. Способ укоренения побегов орехоплодных, полученных *in vitro*. Оpubл. БИ. 1993. № 4. Н.М. Пивень, Г.Г. Мельничук, А.С. Фелалиев.
- 13 Деменко В.И. Проблемы и возможности микроклонального размножения садовых растений. Введение в культуру / В.И. Деменко // Изв. ТСХА. — 2005. — Вып. 2. — С. 48–58.
- 14 Yegizbayeva T.K. Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties. / T.K. Yegizbayeva, S. Garcia-Garcia, T.V. Yausheva, M. Kairova, A.K. Apushev, S.N. Oleichenko, R.J. Licea-Moreno // Agronomy. — 2021. — Vol. 11. — P. 1417–1434. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071417>

- 15 McGranahan G.H. Tissue culture of *Juglans* / G.H. McGranahan, J.A. Driver, W. Tulecke // In: Bonga J.M., Durzan D.J. (eds). Cell and Tissue Culture in Forestry, Martinus Nijhoff, Boston. — 1987. — Vol. 3. — P. 261–271.
- 16 McGranahan G. *In vitro* propagation of mature Persian walnut cultivars / G. McGranahan, C.A. Leslie, J.A. Driver // HortScience. — 1988. — Vol. 23. — P. 220.
- 17 Leslie C.A. Improved rooting methods for walnut (*Juglans*) microshoots/ C.A. Leslie, W.P. Hackett, G.H. McGranahan // ActaHortic. — 2009. — Vol. 861. — P. 365–372. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.861.50>
- 18 Клейн Р.М. Адаптация древесных растений *in vitro* в открытом грунте / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн // Методы исследования растений. — М., 2003. — С. 47–52.
- 19 Утегенова Г.А. Оценка состояния дикорастущей популяции ореха грецкого (*Juglans regia* L.) в Казахстане / Г.А. Утегенова, С.В. Кушнарченко, Қ.Р. Қалыбаев, Б. Шораұлы, Н.П. Огарь // Ізденістер, нәтижелер — Исследования, результаты. — 2019. — № 2. — С. 276–285.
- 20 Кушнарченко С.В. Современное состояние популяции лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) в Казахстане / С.В. Кушнарченко, Н.В. Ромаданова, Н.П. Огарь, М.М. Аралбаева, М.А. Верзилов // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Биология. Медицина. География. — 2019. — № 2 (94). — С. 99–104.
- 21 Kushnarenko S. Current state and *in vitro* conservation of the only endangered population of *Corylus avellana* L. in Kazakhstan / S. Kushnarenko, N. Romadanova, M. Aralbaeva // Research on Crops. — 2020. — Vol. 21, No. 4. — P. 681–686. // <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.106>
- 22 Ромаданова Н.В. Микрклональное размножение некоторых сортов яблони: введение в культуру *in vitro* / Н.В. Ромаданова, С.В. Кушнарченко // Поиск. Сер. естеств. и техн. наук. — 2006. — № 1. — С. 54–58.
- 23 Driver J.A. *In vitro* propagation of Paradox walnut rootstock / J.A. Driver, A.H. Kuniyuki // Hort. Sci. — 1984. — Vol. 19. — P. 507–509.
- 24 Murashige T. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiol. Plantarum. — 1962. — Vol. 15. — P. 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- 25 Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.

М.М. Аралбаева, Н.В. Михайленко, С.В. Кушнарченко

Грек және орман жаңғақ өсімділерін *in vitro* культурасында тамырландыру әдісін әзірлеу

In vitro биотехнологияда биологиялық әртүрлілікті сақтау және жоғары сапалы екпе материалын алу үшін кеңінен қолданылады. Жаңғақ дақылдарының микрклональды көбеюінің дамуын тежейтін негізгі мәселе олардың *in vitro* жағдайында тамырлану қабілетінің төмендігі және топырақ субстратына көшкен кезде өсімдіктің ұзақ бейімделуі. Зерттеу нысаны ретінде *in vitro* культурасында көбейген *Juglans regia* L. және *Corylus avellana* L. сорттарының асептикалық өркендері және жабайы түрлері пайдаланылды. Грек пен орман жаңғақ өсімділерін *in vitro* культурасында тамырлаудың екі әдісі арасында салыстыру жүргізілді. Грек жаңғағы үшін индолилмай қышқылының (10 мг/л) және сахарозаның (60 г/л) жоғары концентрациясы бар Мурасиг-Скуга агаризацияланған ортада тамырлаудың екі сатылы әдісін қолдану (I әдіс) тамырланған өсімдіктердің орташа есеппен 68,6 % алуға мүмкіндік берді. Агардың орнына вермикулит қолдану екінші тамырландыру әдісі орман жаңғағы үшін ең тиімді болып шықты, *in vitro* жағдайында *Corylus avellana* өркендерінің 91,3 % тамырланды. Орман жаңғағының жылыжай жағдайына бейімделуі сәтті өтті, өсімдіктердің 91,8 % -ы дамуын жалғастырды. Грек жаңғағында өсімдіктердің 28,6 % топырақ субстратына бейімделген.

Кілт сөздер: *Juglans regia*, *Corylus avellana*, грек жаңғағы, орман жаңғағы, микрклональды көбейту, *in vitro* тамырландыру, өсімдіктердің жылыжай жағдайына бейімделуі.

М.М. Aralbayeva, N.V. Mikhailenko, S.V. Kushnarenko

Development of rooting method for *Juglans regia* L. and *Corylus avellana* L. *in vitro* shoots

In vitro biotechnologies are widely used to preserve biodiversity and produce high quality planting material. The main problem that hinders the development of micropropagation for nut crops is their low ability to *in vitro* root formation and the long period of plant adaptation when transferred to a soil substrate. The aseptically propagated shoots of varieties and wild forms of *Juglans regia* L. and *Corylus avellana* L. *in vitro* micropropagated are used as plant material for this study. A comparison was made between two methods of *in vitro* rooting. For walnut, the use of a two-stage rooting method on Murashige-Skoog agar medium with high concentrations of indolyl 3 butyric acid (10 mg/l) and sucrose (60 g/l) (method I) made it possible to obtain an average of

68.6 % of rooted plants. The second rooting method, replacing agar with vermiculite, proved to be the most effective for hazelnut, with 91.3 % of *Corylus avellana* shoots rooting *in vitro*. The adaptation of hazelnut plants to the conditions of the greenhouse was successful, 91.8 % of the plants continued their development. In walnut, 28.6 % of plants adapted to the soil substrate.

Keywords: *Juglans regia*, *Corylus avellana*, walnut, hazelnut, micropropagation, *in vitro* rooting, plant adaptation to greenhouse conditions.

References

- 1 Pavlov, N.V. (Ed.). (1960). *Flora Kazakhstan [Flora of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Izdatelstvo Akademii nauk Kazakhskoi SSR, 3 [in Russian].
- 2 Dzhangaliev, A.D., Salova, T.N., & Turekhanova, R.M. (2001). *Dikie plodovye rasteniia Kazakhstan [Wild fruit plants of Kazakhstan]*. Almaty: Kazakhskii gosudarstvennyi institut nauchno-tehnicheskoi informatsii [in Russian].
- 3 (2014). *Krasnaia kniga Kazakhstan [Red Book of Kazakhstan] Vol. 2: Rasteniia — Plants (2nd ed.)*. Astana: ArtPrint XXI [in Russian].
- 4 Leslie, C., & McGranahan, G. (1992). Micropropagation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). In: Y.P.S. Bajaj (ed.). *Biotechnology in agriculture and forestry, 18: High-tech and micropropagation II*. Springer-Verlag, Berlin, 136–150.
- 5 Yu, X., & Reed, B.M. (1995). A micropropagation system for hazelnuts (*Corylus* species). *HortScience*; 120–123.
- 6 Hand, C.R., Wada, N., Stockwell, V., & Reed, B.M. (2016). Node position influences viability and contamination in hazelnut shoot explants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant*, 52 (6); 580–589.
- 7 Vahdati, K., Leslie, C., Zaman, Z., & McGranahan, G. (2004). *In vitro*-grown shoots from mature trees of three Persian walnut cultivars. *HortScience*, 39; 324–327.
- 8 Vahdati, K., Razaee, R., & Mirmasoomi, M. (2009). Micropropagation of some dwarf and early mature walnut genotypes. *Biotechnology*, 8; 171–175.
- 9 Gotea, R., Gotea, I., Sestras, R.E., & Vahdati, K. (2012). *In vitro* propagation of several walnut cultivars. *Horticulture*, 69; 167–171.
- 10 Licea-Moreno, R.J., Contreras, A., Morales, A.V., Urban, I., Daquinta, M., & Gomez, L. (2015). Improved walnut mass micropropagation through the combined use of phloroglucinol and FeEDDHA. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 123; 143–154.
- 11 Tetsumura, T., Tsukuda, K., & Kawase, K. (2002). Micropropagation of Shinano walnut (*Juglans regia* L.). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 71 (5); 661–663.
- 12 Piven, N.M., Melnichuk, G.G., & Felaliev, A.S. (1993). Patent № A 01 H 4/00. SU 1792270 A3. Sposob ukoreneniia pobegov orekhoplodnykh, poluchennykh *in vitro* [Method for rooting shoots of nut-bearing plants obtained *in vitro*]. Publ. 30.01.93 BI, 4 [in Russian].
- 13 Demenko, V.I. (2005). Problemy i vozmozhnosti mikroklonalnogo razmnozheniia sadovykh rastenii. Vvedenie v kulturu [Problems and possibilities of micropropagation of garden plants. Introduction to culture]. *Izvestiia Timiriazevskoi selskokhoziaistvennoi akademii — Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*, 2; 48–58 [in Russian].
- 14 Yegizbayeva, T.K., García-García, S., Yausheva, T.V., Kairova, M., Apushev, A.K., Oleichenko, S.N., & Licea-Moreno, R.J. (2021). Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties. *Agronomy*, 11; 1417–1434.
- 15 McGranahan, G.H., Driver, J.A., & Tulecke, W. (1987). Tissue culture of *Juglans*. In: Bonga J.M. & Durzan D.J. (eds). *Cell and Tissue Culture in Forestry*, Martinus Nijhoff, Boston, 3; 261–271.
- 16 McGranahan, G., Leslie, C.A., & Driver, J.A. (1998). *In vitro* propagation of mature Persian walnut cultivars. *HortScience*, 23, 220.
- 17 Leslie, C.A., Hackett, W.P., & McGranahan, G.H. (2009). Improved rooting methods for walnut (*Juglans*) microshoots. *Acta Hort.*, 861; 365–372.
- 18 Klein, R.M., & Klein, D.T. (2013). Adaptatsiia drevesnykh rastenii *in vitro* v otkrytom grunte [Adaptation of *in vitro* woody plants to the open field]. *Metody issledovaniia rastenii — Plant research methods*, 47–52 [in Russian].
- 19 Utegenova, G.A., Kushnarenko, S.V., Kalybaev, K.R., Shorayly, B., & Ogar, N.P. (2019). Otsenka sostoiianiia dikorastushchei populiatsii orekha gretskogo (*Juglans regia* L.) v Kazakhstane [Assessment of the condition of wild walnut (*Juglans regia* L.) population in Kazakhstan]. *Izdenister, natizheler — Issledovaniia, rezultaty — Research, results*, 2; 276–285 [in Russian].
- 20 Kushnarenko, S.V., Romadanova, N.V., Ogar, N.P., Aralbaeva, M.M., & Verzilov, M.A. (2019). Sovremennoe sostoianie populiatsii leshchiny obyknovnoi (*Corylus avellana* L.) v Kazakhstane [Current state of Hazel (*Corylus avellana* L.) population in Kazakhstan]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Serii Biologiia. Meditsina. Geografiia — Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*, 2 (94), 99–104 [in Russian].
- 21 Kushnarenko, S., Romadanova, N., & Aralbaeva, M. (2020). Current state and *in vitro* conservation of the only endangered population of *Corylus avellana* L. in Kazakhstan. *Research on Crops*, 21(4); 681–686.
- 22 Romadanova, N.V., & Kushnarenko, S.V. (2006). Mikroklonalnoe razmnozhenie nekotorykh sortov yabloni: vvedenie v kulturu *in vitro* [Microclonal reproduction of some varieties of apple trees: introduction *in vitro* conditions]. *Poisk. Serii estestvennykh i tekhnicheskikh nauk — Research. Series of natural and technical sciences*, 1, 54–58 [in Russian].

23 Driver, J.A., & Kuniyuki, A.H. (1984). *In vitro* propagation of Paradox walnut rootstock. *Hortic. Sci.*, 19; 507–509.

24 Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plantarum*, 15; 473–497.

25 Lakin, G.F. (1990). *Biometriia* [Biometry]. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].

А.Н. Данилова*, Е.А. Исакова, А.А. Сумбембаев

Алтайский ботанический сад, Риддер, Казахстан

**Автор для корреспонденции: a-n-danilova@yandex.ru*

Отбор по комплексу хозяйственно-ценных признаков формообразцов житняка гребневидного во флоре Калбинского Алтая и их интродукция в Алтайском ботаническом саду

Цель исследования — отбор в естественных популяциях Калбинского Алтая по комплексу морфологических и хозяйственно ценных признаков формообразцов *Agropyron pectinatum* из разных эколого-географических мест произрастания и их интродукционное испытание в Алтайском ботаническом саду. Материалом для исследования служили дикорастущие образцы различного эколого-географического происхождения. Оценка образцов проводили во время экспедиционных выездов по территории Калбинского Алтая. При этом использовались классические методы, применяемые в геоботанике, семеноводстве, морфологии. По результатам исследований дана оценка 5 группам ассоциаций житняка гребневидного по комплексу морфологических и хозяйственно ценных показателей, представляющих интерес в качестве исходного материала для создания высокопродуктивных пастбищных и сенокосных угодий в засушливых районах Казахстанского Алтая. Установлено доминирование морфометрических и счетных признаков наземных органов *Agropyron pectinatum* во всех обследованных ассоциациях на высоком и среднем уровнях изменчивости, редко на низком и единично на очень высоком. Все посевные образцы *Agropyron pectinatum* в культуре Алтайского ботанического сада оказались зимостойкими, с полным циклом сезонного развития, среднецветущими, отреагировав на условия культуры увеличением морфометрических показателей наземных органов, массы 1000 шт. семян и урожайности. Перспективными для включения во второй этап интродукции в качестве исходных образцов для селекционных исследований отобраны полиморфные и высокоурожайные 2 культурных посевных образца из житняково-люцерновой и кустарниково-житняковой ассоциаций.

Ключевые слова: житняк гребневидный, ассоциация, образец, интродукция, морфология, фенологическая фаза, урожайность.

Введение

Житняк гребневидный (пырей гребневидный) *Agropyron pectinatum* (M. Vieb.) P. Beauv. в травосеянии многих зон занимает одно из лидирующих положений, являясь самым распространенным видом среди житняков в дикорастущей природе. Он произрастает по всей степной зоне и на юге лесостепи европейской части России, в Крыму, на Северном Кавказе, в Сибири, на Алтае. Широкое внутривидовое разнообразие представлено в Казахстане, Монголии, Средней Азии.

Житняк гребневидный получил в Казахстане широкое распространение, благодаря высокому полиморфизму и экологической пластичности. При любых погодных условиях дает высокие урожаи зеленой массы, в том числе сена, являясь основным источником грубых и пастбищных кормов, а также средством увеличения плодородия почвы. Среди многолетних злаков травостой этого вида может сохраняться на одном месте в течение 10–20 и более лет [1–4]. Вид засухоустойчив, выдерживает значительное переувлажнение и засоление почв. Устойчив к перевыпасу и вытаптыванию, после стравливания быстро отрастает и дает отаву [5–9]. В южных, западных и северных областях Казахстана с засушливым климатом активно проводились исследования житняка гребневидного как в естественных местах произрастания, так и в опытных посевах [2; 10, 11]. Многолетние флористические исследования в Восточном Казахстане выявили произрастание житняка гребневидного на территории Казахстанского Алтая в географических районах: Южный, Западный, Калбинский Алтай по юго-западным и северо-восточным, хорошо освещенным и прогреваемым щебнистым склонам, закустаренным щебнистым степям в нижнем пределе 500–1000 м над ур. м. [12, 13]. Несмотря на широкое распространение вида в регионе, его потенциальные возможности в Казахстанском Алтае используются недостаточно в силу слабой изученности. Между тем Ю.А. Котухов [14] отнес этот злак к перспективным во флоре Калбинского Алтая Казахстанского Алтая для создания высокопродуктивных пастбищных и сенокосных угодий, устойчивых к эколого-климатическим колебаниям. Также ресур-

соведческие исследования показали, что житняк гребневидный в регионе формирует промысловые массивы и представлен внутривидовым разнообразием [15, 16].

Цель работы — отбор в естественных популяциях Калбинского Алтая по комплексу морфологических и хозяйственно ценных признаков формообразцов *Agropyron pectinatum* из разных эколого-географических мест произрастания и их интродукционное испытание в Алтайском ботаническом саду. Для выполнения поставленной цели нами изучены морфометрические показатели житняка гребневидного в Калбинском Алтае, урожайность зеленой массы, семенная продуктивность, на основе которых отобраны перспективные формообразцы в естественных местах произрастания для интродукции. Созданы культурные популяции в Алтайском ботаническом саду семенами из природных сборов, определены особенности их роста в культуре, а также урожайность зеленой массы и семенная продуктивность при интродукции.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в естественных местах произрастания *A. pectinatum* на территории Калбинского Алтая и на базе РГП на ПХВ «Алтайский ботанический сад» в 2015–2021 гг.

Калбинский Алтай представлен одноименным хребтом Калбинский, расположенным на левобережье Иртыша, между долинами рек Кокпекты, Буконь, Чар. Абсолютные высоты 400–1600 м; максимальная высота 1608 м (г. Сары-Шоку). Значительные территории занимают островные интрузивные массивы (Каиндинский, Аюдинский, Шабындинский, Коктаусский и другие). Наиболее широко развитый тип рельефа — низкогорный, имеющий по периферии характер мелкосопочника или так называемых горстов. Доминирующий элемент рельефа — широкие вогнутые впадины (Сибинская, Таинтинская и другие). Годовая сумма радиационного баланса около 35 ккал/см² в год. Средняя температура самого теплого месяца (июль) +19...+22 °С, а самого холодного (январь) –14...–19 °С. Сумма суточных положительных температур 2000–3100 °С. Среднегодовое количество осадков — 280–400 мм [17].

Климат региона, где расположен Алтайский ботанический сад, резко континентальный, характеризуется холодной продолжительной зимой, жарким летом, резкими колебаниями температуры воздуха и влажности в течение суток, сезона, года. По данным Риддерской метеостанции, среднегодовая температура воздуха составляет 1,8 °С при абсолютном максимуме +41,5 °С и минимуме –46,7 °С. Безморозный период — 51–139 дней. Среднегодовое количество осадков колеблется от 432 до 937 мм с летним максимумом. Снеговой покров устойчивый, сходит во второй половине апреля. Полное оттаивание почвы на глубине 10–12 см в среднем по показателю отмечается с конца апреля–начала мая [18].

Объект исследования — *A. pectinatum* из разных эколого-географических местонахождений на территории Калбинского Алтая. Изучение особенностей местообитаний вида проведено маршрутно-рекогносцировочным методом [19]. Экспедиционные выезды проведены по следующим маршрутам: хр. Калбинский (территория восточной лесной и западной горно-степной Калбы, г. Коктау, г. Сарытау, долины рек Байчи, Талды, Лайлы, Таинты, Таргын, Талдыбулак, Преображенка, Кокпектинка), Сибинская впадина. Морфометрические признаки при выделении перспективных форм житняка гребневидного для включения в интродукцию учитывали визуально, при этом определялись следующие количественные показатели: диаметр дернины, количество генеративных побегов в дернине и его высота, количество листьев на побеге, их длина и ширина, высота и ширина колоса, количество цветков в колосе и колоске. Определение количественных показателей проведено в 10–15-кратной повторности. Для статистической обработки материала использованы рекомендации С.П. Зайцева [20]. Уровень изменчивости изучаемых признаков был рассчитан по величине коэффициента вариации C_v : меньше 12 % — уровень изменчивости низкий, 13–20 — средний, 21–40 — высокий, более 40 % — очень высокий [21]. Семенная продуктивность рассчитана по методике С.С. Лищук [22]. Урожайность зеленой массы в полевых условиях замерялась методом трансект [23]. При выполнении научных исследований в культуре были использованы методы и формы научных исследований (наблюдение, эксперимент, сравнение, измерение, эмпирический анализ) в интродукции, принятые в ботанических садах, обеспечивающие методическую достоверность полученных результатов, позволяющие оценить степень жизнеспособности растений и возможность их практического использования для региона.

Результаты и их обсуждение

Изучение *A. pectinatum* на территории Калбинского Алтая показало, что вид широко распространен в регионе. Морфологические и хозяйственные признаки для отбора в интродукцию исследованы в 5-и группах растительных ассоциаций с участием изучаемого объекта: житняково-люцерновой, кустарниково-житняковой, горно-кустарниково-житняковой, ковыльно-полынно-житняковой, караганово-житняковой.

Группа житняково-люцерновых ассоциаций. Выявлена по всей территории западной части Калбинского Алтая (Западная Калба), часто образуя одновидовые сообщества до 10–15 га. Почвы глинистые с включениями мелкой гальки. Напочвенный покров слабо выражен, представлен опадом. Травостой в видовом отношении насчитывает не более 20 видов. Общее проективное покрытие — 85 %, в котором доля *A. pectinatum* составила 60 %. Жизненность вида по шкале А.А. Гроссгейма — высокая с показателями урожайности зеленой массы — 480 г/м², потенциальным семеношением — 5578 семян, реальным — 3984, коэффициентом семенификации — 71,43 %.

Группа кустарниково-житняковых ассоциаций. Приурочена к северо-западным предгорьям хр. Калбинский в составе кустарниковых формаций в высотном пределе 213 м над ур. м. Почвы, занимаемые сообществами с участием житняка, глинистые, уплотненные, выровненные. Травостой в видовом отношении насчитывает не более 17 видов, формируя общее проективное покрытие на уровне 75 %. На долю *A. pectinatum* в покрове приходится 30 %. Жизненность житняка гребневидного в фитоценозах по шкале А.А. Гроссгейма — высокая с показателями урожайности зеленой массы — 499,8 г/м², потенциальным семеношением — 5578 семян, реальным — 3984, коэффициентом семенификации — 75,46 %.

Группа горно-кустарниково-полынно-житняковых ассоциаций. Выделена по юго-западным склонам юго-западных, юго-восточных предгорий западной горно-степной части Калбинского хребта в высотном пределе 325–583 м над ур. м. (Западная Калба). Рельеф участка сложный с выходом сильно разрушенных скальных пород, почвенный слой мелко-щебнистый со скоплением мелкозема. Кустарниковый ярус сформирован *Spiraea hypericifolia*, *Caragana frutex*. Общее проективное покрытие варьирует на уровне 40,0–50,0 %, в котором доля *A. pectinatum* составила 13 %. Жизненность житняка гребневидного в фитоценозах по шкале А.А. Гроссгейма — угнетенная с показателями урожайности зеленой массы — 13,0 г/м², потенциальным семеношением — 1939 штук, реальным — 1204, коэффициентом семенификации — 62,3 %.

Группа ковыльно-полынно-житняковых ассоциаций. Выявлена на юго-западных предгорьях хр. Калбинский, 295 м над ур. м. Рельеф участка выровненный; почвы плотные, пылевидные, со значительным включением кварцевой гальки. Растительный покров образован только травостоем, состоящим из 10–15 видов цветковых растений. Общее проективное покрытие изменяется от 70,0 % до 90,0 %, при этом доля житняка гребневидного составляет 22 %. Жизненность житняка гребневидного в фитоценозах по шкале А.А. Гроссгейма — нормальная с показателями урожайности зеленой массы — 22,8 г/м², потенциальным семеношением — 13214 семян, реальным — 1175 семян, коэффициентом семенификации — 75,46 %.

Группа караганово-разнотравно-злаково-луговых ассоциаций. Обнаружена на юго-восточном предгорье горного массива Коктау в урочище Талды на высоте 693 м над ур. м (Восточная Калба). Рельеф участка — древние закрытые предгорные террасы; почвы — горный чернозем со значительным включением крошки разрушенных гранитоидных пород. Размещены ассоциации в виде отдельных массивов, нередко занимающих значительные площади. Напочвенный покров хорошо развит, представлен опадом, в разной степени разложения. Кустарниковый ярус представлен *Caragana frutex* и *Spiraea hypericifolia*. Травостой хорошо сформирован; проективное покрытие 95–100 %. В этих ассоциациях житняк по площади размещен рассеянно. Жизненность вида в фитоценозах по шкале А.А. Гроссгейма — высокая с показателями урожайности зеленой массы — 22,3 г/м², потенциальным семеношением — 5748 семян/м², реальным — 4200 семян/м², коэффициентом семенификации — 73,00 %.

Следует отметить, что на растениях житняково-люцерновых, ковыльно-полынно-житняковых, горно-кустарниково-полынно-житняковых ассоциаций не выявлены грибковые болезни. Единичный характер фитопатогенного поражения ржавчиной зафиксирован в караганово-разнотравно-злаково-луговой ассоциации.

Одним из критериев отбора перспективных природных форм послужил морфометрический анализ наземных органов житняка гребневидного, который подразумевает использование амплитуды изменчивости для создания высокопродуктивной интродукционной популяции (см. табл.).

Т а б л и ц а

Показатели изменчивости морфометрических и количественных показателей *Agropyron pectinatum* в изученных ассоциациях Калбинского Алтая

Показатели	Ассоциации									
	житняково-люцерновые		кустарниково-житняковые		горно-кустарниково-полынно-житняковые		ковыльно-полынно-житняковые		караганово-разнотравно-злаково-луговые	
	M±m	Cv	M±m	Cv	M±m	Cv	M±m	Cv	M±m	Cv
Диаметр дернины, см	13,0±2,2	22,3	11,3±2,4	28,7	8,0±1,5	27,6	30,8±14,4	41,2	30,1±8,2	38,4
Высота генеративного побега, см	50,9±10,1	28,2	57,9±8,01	20,8	39,7±4,3	15,5	49,9±4,7	20,8	82,0±6,6	19,4
Длина листа, см	7,9±1,7	29,7	12,1±3,4	39,4	9,9±3,2	44,3	11,4±2,08	25,8	16,3±2,5	27,9
Ширина листа, см	0,4±0,1	25,4	0,5±0,1	37,7	0,4±0,1	25,6	0,3 ±0,2	20,2	0,7±0,1	28,7
Длина колоса, см	6,1±0,8	18,8	7,7±0,7	13,8	4,8±0,7	20,6	7,6±0,7	12,7	7,3±0,5	15,3
Ширина колоса, см	1,9±0,3	26,9	2,9±0,4	13,0	1,6±0,2	18,1	1,7±0,2	14,4	2,1 ±0,2	18,1
Число генеративных побегов в дернине, шт.	30,7±8,2	40,3	29,9±6,0	28,7	12,5±4,1	46,6	56,3±11,5	28,9	30,4±8,2	38,4
Число листьев на побеге, шт.	3,6±0,5	19,4	3,7±0,3	13,1	2,8±0,3	15,1	3,2±0,3	13,0	3,7±0,4	19,0
Число узлов на побеге, шт.	2,9±0,4	19,5	3,0±0,1	13,1	3,0±0,1	12,5	3,2±0,3	12,7	3,0±0,1	12,7
Число колосков в колосе, шт.	27,3±2,8	15,0	39,5±3,7	13,9	22,4±2,7	16,5	32,6±2,9	12,9	30,1±2,4	15,1
Число цветков в колоске, шт.	6,73±1,1	25,0	8,3±0,8	19,9	6,9±0,6	12,6	7,2±0,6	12,7	6,2±0,8	24,4
Число семянков в колоске, шт.	4,83±0,9	27,4	6,2±0,9	6,7	4,3± 0,7	24,6	6,1±0,9	21,1	4,53±0,82	33,2

Рассчитанные коэффициенты вариации показали, что морфометрические показатели наземных органов *A. pectinatum* во всех обследованных ассоциациях варьируют, в основном, на высоком и среднем уровнях изменчивости и единично на очень высоком. Установлено, что наиболее изменчивы такие морфометрические признаки, как диаметр дернины, высота генеративного побега, длина и ширина листа. Изучение счетных показателей позволило выявить, что такой признак, как число генеративных побегов в дернине, варьирует во всех ассоциациях на высоком и очень высоком уровнях. Средний уровень изменчивости зафиксирован во всех ассоциациях по числу листьев и колосков в колосе. Выявлено, что такой признак, как число цветков в колоске в житняково-люцерновых и караганово-разнотравно-злаково-луговых ассоциациях, варьировал на среднем уровне, а в горно-кустарниково-полынно-житняковых и ковыльно-полынно-житняковых ассоциациях этот показатель более выровненный, уровень изменчивости низкий. Только у растений в житняково-люцерновых ассоциациях выявлена высокая степень изменчивости числа цветков в колоске. Также высокая степень изменчивости зафиксирована для такого признака, как число семянков в колоске, исключение — кустарниково-житняковые ассоциации, где у этого признака амплитуда изменчивости низкая. Доминирование высокого и среднего уровня изменчивости морфометрических и счетных показателей свидетельствует о пластичности *A. pectinatum* в обследованных ассоциациях и указывает на перспективность использования этого резерва для отбора и испытания в культуре.

Опытный участок Алтайского ботанического сада, где были испытаны образцы житняка гребневидного, расположен на высоте 800 над ур. м. Почвы представлены горными черноземами с содержанием гумуса до 8 % комковато-зернистой структуры. Мощность гумусового горизонта составляет 80–120 см [24]. Как показали наблюдения, высеянные осенью свежесобранные семена из обследованных пяти природных ассоциаций в культуре дружно проросли весной следующего года. Дальнейшие учеты выявили отрастание всех образцов в первой половине апреля 08.04±5 дней, когда среднесуточная

температура воздуха достигала $+5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а почва прогревалась до $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубину до 12 см. Ежегодно проводившаяся весенняя инвентаризация посевов показала отсутствие выпадов опытных растений в период перезимовок. Выход в трубку отмечен с 23.05 по 10.06 (рис. 1). Первыми в фазу колошения в последних числах мая (28.05–31.05.) вступали образцы, выращенные из семян житняково-люцерновых и ковыльно-полынно-житняковых ассоциаций, затем из кустарниково-житняковых и горно-кустарниково-полынно-житняковых ассоциаций (03.06–05.06). Фаза колошения образцов, выращенных из семян с юго-восточного предгорья гор Коктау (караганово-разнотравно-злаково-луговые ассоциации) проходила с 10.06 по 14.06. Наблюдения в течение 4-х вегетационных сезонов показали, что у всех образцов в культуре колошение дружное и короткое, продолжительность этой фазы развития составила 5–7 дней. Начало цветения — конец июня с 25.06–29.06, массовое цветение — первая декада июля с продолжительностью 2–3 дня. Семена созревали со второй декады августа, завершая этот процесс в середине третьей декады месяца. К завершению созревания семян наблюдалась массовая осенняя генерация листьев (рис. 2).



Рисунок 1. Фрагмент экспериментального участка *Agropyron pectinatum*. Начало выхода в трубку



Рисунок 2. Фрагмент экспериментального участка *Agropyron pectinatum*. Осенняя генерация листьев

Таким образом, в результате изучения сезонного ритма развития было установлено, что все опытные посевы *A.pectinatum* в условиях Алтайского ботанического сада оказались зимостойкими с полным циклом сезонного развития, завершая его семеношением, по срокам цветения — среднецветущими.

Сравнительный анализ морфологических и хозяйственных показателей в природе и в эксперименте показал следующее. В посевах, выращенных из семян караганово-разнотравно-злаково-луговых ассоциаций, снизилась высота генеративных побегов с $82,0\pm 6,6$ см до $72,4\pm 4,2$ см, при этом выросла облиственность за счет увеличения длины и ширины листа, соответственно, до $18,3\pm 2,5$ см и $0,9\pm 0,1$ см. У растений из горно-кустарниково-житняковых ассоциаций высота генеративного побега увеличилась с $39,7\pm 4,3$ см до $48,3\pm 2,7$ см, длина и ширина листа, соответственно, до $11,0\pm 5,3$ см и $0,64\pm 0,3$ см. Посевы из ковыльно-полынно-житняковых ассоциаций в условиях интродукции увеличили высоту генеративного побега с $49,9\pm 4,7$ до $68,2\pm 4,3$ см и ширину листа до $0,65\pm 1,3$ см, при этом уменьшив длину листа до $9,8\pm 4,7$ см. У растения кустарниково-житняковых ассоциаций высота куста достигала $70\pm 4,7$ см, ширина листа увеличилась до $0,75\pm 4$ мм, длина листа уменьшилась до $11,5\pm 3,7$ см. В культуре посевы из житняково-люцерновых ассоциаций увеличили высоту куста до $60,5\pm 10,2$ см, длину листа до $9,5\pm 1,9$ см, ширину листа до $0,8\pm 0,3$ см.

Изучение весовых показателей свежесобранных семян у образцов *A.pectinatum* в описанных выше ассоциациях и в посевах в Алтайском ботаническом саду выявило увеличение абсолютной массы 1000 шт. семян в эксперименте (рис. 3).

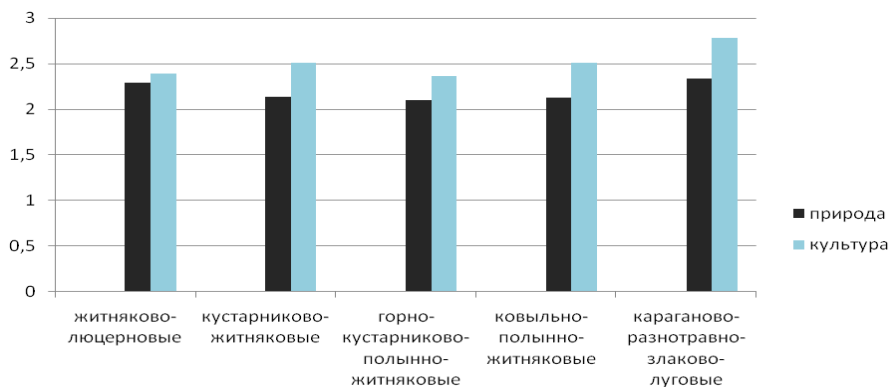


Рисунок 3. Масса 1000 шт. семян *Agropyron pectinatum* в природе Калбинского Алтая и посевах в Алтайском ботаническом саду (в граммах)

Масса семян из житняково-люцерновых ассоциаций изменилась незначительно (4,6 %), у остальных этот показатель увеличился на 17–18 %. В культурных посевах определение урожайности зеленой массы проводили в течение 3-х вегетационных сезонов в фазе колошения–цветения, когда растения достигали максимальной высоты, в среднем, $62,9 \pm 4,1$ см. В среднем, за три года пользования травостоем урожайность зеленой массы в посевах из житняково-люцерновых ассоциаций составила $521,3 \text{ г/м}^2$, в кустарниково-житняковом — $574,8 \text{ г/м}^2$, горно-кустарниково-полынно-житняковым — $169,2 \text{ г/м}^2$, ковыльно-полынном — $291,7 \text{ г/м}^2$, караганово-разнотравно-злаково-луговых — $274,8 \text{ г/м}^2$. Все посева в культуре по сравнению с природными образцами показали повышение урожайности зеленой массы (рис. 4).

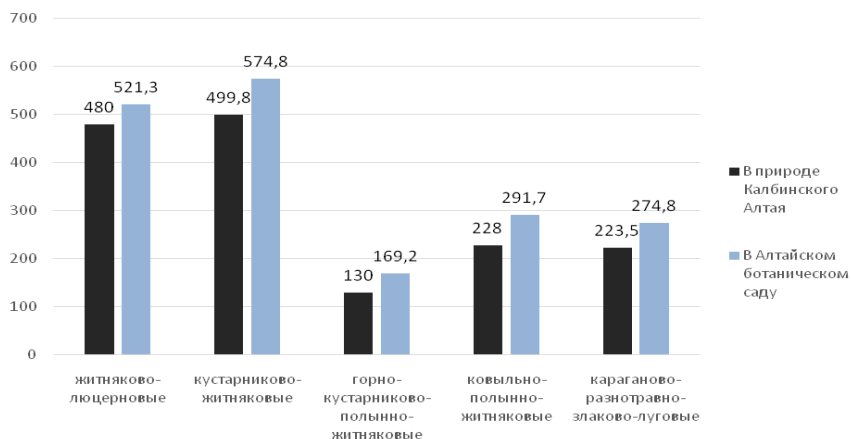


Рисунок 4. Урожайность зеленой массы *Agropyron pectinatum* в природе Калбинского Алтая и посевах в Алтайском ботаническом саду (в г/м²)

Полиморфные и высокоурожайные в природе житняково-люцерновые и кустарниково-житняковые образцы в культурных посевах не только сохранили природную продуктивность зеленой массы, но и превысили этот показатель в процентном соотношении на 9,6 % и 15,0 % соответственно. Полиморфный в природе, но низкоурожайный по показателям зеленой массы образец из горно-кустарниково-житняковых ассоциаций отреагировал увеличением урожайности в культурных посевах на 30,1 %.

Несмотря на средний и высокий уровень полиморфизма, отзывчивость на условия культуры по формированию травостоя, этот образец не перспективен для использования в селекционных исследованиях, так как наблюдалось полегание генеративных побегов до 25–30 %. Во второй этап интродукции с перспективой включения в селекционную программу создания новых сортов для внедрения в Калбинском Алтае по морфометрическим и хозяйственно ценным показателям определены образцы из житняково-люцерновых и кустарниково-житняковых ассоциаций.

Заключение

Изучение дикорастущих образцов *A. pectinatum* разного эколого-географического происхождения в условиях Калбинского Алтая показало, что вид отличается высоким полиморфизмом по основным хозяйственно ценным признакам и показателям. Доминирование высокого и среднего уровня изменчивости морфометрических и счетных показателей свидетельствует о пластичности вида в обследованных ассоциациях Калбинского Алтая и указывает на перспективность использования этого резерва для отбора и испытания в интродукции. В культуре на основании показателей зимостойкости, полного цикла сезонного развития, устойчивости к полеганию, повышения природной продуктивности зеленой массы рекомендованы образцы из житняково-люцерновых и кустарниково-житняковых ассоциаций для включения во второй этап интродукции в качестве селекционного материала для выведения нового сорта, адаптированного для Калбинского Алтая.

Исследования выполнены в рамках научно-технической программы «Разработка научно-практических основ и инновационных подходов интродукции растений в природных зонах Западного и Восточного Казахстана для рационального и эффективного использования» Министерства образования и науки Республики Казахстан (2021–2022 гг.).

Список литературы

- 1 Деревянникова М.В. Оценка дикорастущих форм житняка гребневидного при использовании в селекции / М.В. Деревянникова, В.В. Чумакова, В.Ф. Чумакова // Тавр. вестн. аграр. науки. — 2020. — № 4. — С. 42–47.
- 2 Такаева М.К. Оценка дикорастущих образцов житняка в условиях полупустыни Западного Казахстана / М.К. Такаева // Сб. науч. тр., посвящ. 80-летию со дня основания Карабалыкской СХОС. — Карабалык, 2009. — С. 33.
- 3 Величко П.К. Житняк / П.К. Величко. — Алма-Ата, 1981. — 160 с.
- 4 Мейрман Г.С. Рекомендации по технологии возделывания житняка / Г.С. Мейрман, Б.А. Исмаилов, С.Т. Ержанова, Р.С. Масоничич-Шотунова, А.А. Абдуллаев. — Астана, 2011. — 11 с.
- 5 Цвелёв Н.Н. Злаки СССР / Н.Н. Цвелев. — Л.: Наука, 1976. — 788 с.
- 6 Бухтеева А.В. Генетические ресурсы житняка *Agropyron Gaertn.* / А.В. Бухтеева, Л.Л. Малышев, Н.И. Дзюбенко, А.А. Кочегина. — СПб., 2016. — 268 с.
- 7 Абаимов В.Ф. Природный генофонд полезных растений Оренбургской области и направления ее использования / В.Ф. Абаимов, А.А. Громов, Н.Д. Кононова // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: материалы Междунар. науч. конф. — Оренбург, 2001. — С. 54–56.
- 8 Косолапов В.М. Современные приоритеты селекции многолетних злаковых трав / В.М. Косолапов // Вестн. Росс. сельскохоз. науки. — 2013. — № 1. — С. 19–21.
- 9 Безгодов А.В. Новые виды и сорта многолетних трав на Среднем Урале для сенокосного и пастбищного использования / А.В. Безгодов, А.В. Беляев, А.Б. Пономарев // Инновационные технологии в науке и образовании. — 2016. — № 4 (8). — С. 199–207.
- 10 Абдрашитова Р.М. Житняк и его сорта на севере Казахстана / Р.М. Абдрашитова // Вестн. с.-х. науки Казахстана. — 2001. — № 9. — С. 15–16.
- 11 Бухтеева А.В. Экоотипы житняка Западного Казахстана как исходный материал для селекции / А.В. Бухтеева // Бюлл. ВИР. — 1974. — № 42. — С. 29–35.
- 12 Котухов Ю.А. Список сосудистых растений Казахстанского Алтая / Ю.А. Котухов // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. — 2005. — Вып. 11. — С. 11–83.
- 13 Байтулин И.О. Флора сосудистых растений Казахстанского Алтая / И.О. Байтулин, Ю.А. Котухов. — Алматы, 2011. — 160 с.
- 14 Котухов Ю.А. Перспективные виды злаков для интродукции в Восточном Казахстане / Ю.А. Котухов // Роль ботанических садов в охране и обогащении растительного мира. — Киев: Укрвузполиграф, 1969. — Т. 1. — С. 117, 118.
- 15 Danilova A.N. Resource Evaluation of Production Massifs *Agropyron pectinatum* at Kalbinsky Ridle / A.N. Danilova, A.A. Sumbembayev // European Researcher. — 2014. — Vol. 5–1 (74). — P. 809–817.
- 16 Данилова А.Н. Хозяйственно-ценные растения Казахстанского Алтая / А.Н. Данилова, А.А. Сумбембаев. — Lambert Academic Publishing, 2016. — 125 с.
- 17 Егорина А.В. Физическая география Восточного Казахстана / А.В. Егорина, Ю.К. Зинченко, Е.С. Зинченко. — Усть-Каменогорск: Альфа-Пресс, 2003. — 187 с.
- 18 Данилова А.Н. Адаптационная оценка *Cypripedium macranthon* Sw. в Алтайском ботаническом саду / А.Н. Данилова, А.А. Сумбембаев, Ю.А. Котухов // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — 2021. — Т. 20, № 1. — С. 151–155.
- 19 Быков Б.А. Геоботаника / Б.А. Быков. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1957. — 287 с.
- 20 Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов / Г.Н. Зайцев. — М.: Наука, 1973. — 150 с.

- 21 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. — М.: Агропроиздат, 1985. — 352 с.
- 22 Лишук С.С. Методика определения массы семян / С.С. Лишук // Ботан. журн. — 1991. — Т. 76, № 11. — С. 1623, 1624.
- 23 Конюшков Н.С. Методика опытных работ на сенокосах и пастбищах / Н.С. Конюшков. — М.: Сельхозиздат, 1961. — 282 с.
- 24 Агроклиматические ресурсы Восточно-Казахстанской области. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 159 с.

А.Н. Данилова, Е.А. Исакова, А.А. Сумбембаев

Қалба Алтайының флорасында тарақша еркекшөп форма үлгілерін шаруашылық–құнды белгілерінің кешені бойынша іріктеу және оларды Алтай ботаникалық бағында интродукциялау

Зерттеудің мақсаты — Қалба Алтайының табиғи популяцияларында әр түрлі экологиялық-географиялық өсу орындарынан *Agropyron pectinatum* форма үлгілерін морфологиялық және шаруашылық жағынан құнды белгілерінің кешені бойынша іріктеу және оларды Алтай ботаникалық бағында интродукциялық сынау. Зерттеуге арналған материал әртүрлі экологиялық және географиялық шығу тегі бар жабайы үлгілер болды. Үлгілерді бағалау Қалба Алтай аумағы бойынша экспедициялық сапарлар кезінде жүргізілді. Сонымен қатар геоботаникада, тұқым шаруашылығында, морфологияда қолданылатын классикалық әдістер қолданылды. Зерттеу нәтижелері бойынша Қазақстандық Алтайдың қуаң аудандарында жоғары өнімді жайылымдық және шабындық алқаптарды құру үшін бастапқы материал ретінде қызығушылық тудыратын морфологиялық және шаруашылық жағынан құнды көрсеткіштер кешені бойынша тарақша еркекшөп қауымдастығының 5 тобына баға берілді. *Agropyron pectinatum* жерүсті органдарының морфометриялық және есептік белгілерінің үстемдігі жоғары және орташа өзгергіштік деңгейлерінде, сирек төмен және өте жоғары деңгейде зерттелген барлық қауымдастықтарда анықталды. Алтай ботаникалық бағындағы *Agropyron pectinatum* дақылдарының барлық егу үлгілері қысқа төзімді, маусымдық дамудың толық циклі бар, орташа гүлденгіш, жерүсті органдарының морфометриялық көрсеткіштерін, 1000 дана тұқым массасы мен өнімділігін арттыру арқылы дақылдардың жағдайына бейімделген. Селекциялық зерттеулерге бастапқы үлгілер ретінде енгізудің екінші кезеңінің интродукциясына енгізу үшін перспективті ретінде еркекшөп-жоңышқа және бұталы-еркекшөп қауымдастықтарынан полиморфты және жоғары өнімді егістік үлгінің 2 дақылы таңдалды.

Кілт сөздер: тарақша еркекшөп, қауымдастық, үлгі, интродукция, морфология, фенологиялық фаза, өнімділік.

A.N. Danilova, E.A. Isakova, A.A. Sumbembayev

Selection according to the complex of economically valuable traits of the crested wheatgrass varieties in the flora of the Kalbinsky Altai and their introduction in the Altai Botanical Garden

The aim of the study is to select *Agropyron pectinatum* molds from different ecological and geographical places of growth in the natural populations of the Kalbinsky Altai according to a complex of morphological and economically valuable features and their introduction testing in the Altai Botanical Garden. Wild samples of various ecological and geographical origins served as the material for the study. The samples were evaluated during expedition trips on the territory of the Kalbinsky Altai. At the same time, classical methods in geobotany, seed production, and morphology were used. According to the research results, 5 groups of comb-shaped granary associations were evaluated based on a complex of morphological and economically valuable indicators of interest as a source material for creating highly productive pasture and hay lands in the arid regions of the Kazakh Altai. The dominance of morphometric and counting features of aboveground organs of *Agropyron pectinatum* in all examined associations was found at high and medium levels of variability, rarely at low and occasionally at very high. All the seed samples of *Agropyron pectinatum* in the culture of the Altai Botanical Garden turned out to be winter-hardy, with a full cycle of seasonal development, medium-flowering, responding to the conditions of culture by increasing the morphometric indicators of terrestrial organs, the mass of 1000 pcs. seeds and yields. Polymorphic and high-yielding 2 cultivated seed samples from the wheat-alfalfa and shrub-wheat associations were selected as promising for inclusion in the second stage of introduction as initial samples for breeding studies.

Keywords: crested wheatgrass, association, sample, introduction, morphology, phenological phase, yield.

References

- 1 Dereviannikova, M.V., Chumakova, V.V., & Chumakova, V.F. (2020). Otsenka dikorastushchikh form zhitniaka grebnevidnogo pri ispolzovanii v selektsii [Evaluation of wild-growing forms of crested wheatgrass when using in breeding]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki — Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 4, 42–47 [in Russian].
- 2 Takaeva, M.K. (2009). Otsenka dikorastushchikh obraztsov zhitniaka v usloviakh polupustyni Zapadnogo Kazakhstana [Evaluation of wild-growing samples of wheatgrass in the conditions of populations of Western Kazakhstan]. *Sbornik nauchnykh trudov, posviashchennykh 80-letiiu so dnia osnovaniia Karabalykskoi selskokhoziaistvennoi opytnoi stantsii — Proceedings of Scientific works devoted to the 80th anniversary of Karabalyk Agricultural Experimental Station*. Karabalyk [in Russian].
- 3 Velichko, P.K. (1981). *Zhitniak [Agropyron]*. Alma-Ata [in Russian].
- 4 Meirman, G.S., Ismailov, B.A., Erzhanova, S.T., Masonichich-Shotunova, R.S., & Abdullaev, A.A. (2011). *Rekomendatsii po tekhnologii vozdeleyvaniia zhitniaka [Recommendation to the technique of cultivation of wheatgrass]*. Astana [in Russian].
- 5 Tsvelev, N.N. (1976). *Zlaki SSSR [Cereals of USSR]*. Leningrad: Nauka [in Russian].
- 6 Bukhteeva, A.V., Malyshev, L.L., Dziubenko, N.I., & Kochegina, A.A. (2016). *Geneticheskie resursy zhitniaka Agropyron Gaertn. [Genetic resources of wheatgrass Agropyron Gaertn.]*. Saint Petersburg [in Russian].
- 7 Abaimov, V.F., Gromov, A.A., & Kononova, N.D. (2001). Prirodnyi genofond poleznykh rastenii Orenburgskoi oblasti i napravleniia ee ispolzovaniia [Natural genefund of useful plants of Orenburg region and directions for their using]. Proceedings from Biodiversity and bioresources of Ural and adjacent territories '01: *Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia — International Scientific Conference*. Orenburg, 54–56 [in Russian].
- 8 Kosolapov, V.M. (2013). Sovremennye priority selektsii mnogoletnikh zlakovykh trav [The modern priorities of selection of perennial cereal plants]. *Vestnik Rossiiskoi selskokhoziaistvennoi nauki — Bulletin of Russian Selective Science*, 1, 19–21 [in Russian].
- 9 Bezgodov, A.V., Beliaev, A.V., & Ponomarev, A.B. (2016). Novye vidy i sorta mnogoletnikh trav na Srednem Urale dlia senokosnogo i pastbishchnogo ispolzovaniia [New species and sorts of perennial cereal grasses in the Middle Urals for hay and pasture use]. *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii — Innovative technology in science and education*, 4 (8); 199–207 [in Russian].
- 10 Abdrashitova, R.M. (2001). Zhitniak i ego sorta na severe Kazakhstana [Wheatgrass and its varieties on the north of Kazakhstan]. *Vestnik selskokhoziaistvennoi nauki Kazakhstana — Bulletin of Agroclimatic Science of Kazakhstan*, 9; 15, 16 [in Russian].
- 11 Bukhteeva, A.V. (1974). Ekotipy zhitniaka Zapadnogo Kazakhstana kak iskhodnyi material dlia selektsii [Ecotypes of western wheatgrass as initial material for selection]. *Biulleten Vserossiiskogo instituta rastenii — Bulletin of All-Russian Institute of Plants*, 42; 29–35 [in Russian].
- 12 Kotukhov, Yu.A. (2005). Spisok sosudistykh rastenii Kazakhstanskogo Altaia [List of vascular plants of Kazakhstani Altai]. *Botanicheskie issledovaniia Sibiri i Kazakhstana — Botanical Study of Siberia and Kazakhstan*, 11; 11–83 [in Russian].
- 13 Baitulin, I.O., & Kotukhov, Yu.A. (2011). *Flora sosudistykh rastenii Kazakhstanskogo Altaia [Flora of vascular plants of Kazakhstani Altai]*. Almaty [in Russian].
- 14 Kotukhov, Yu.A. (1969). Perspektivnye vidy zlakov dlia introduktsii v Vostochnom Kazakhstane [The perspective cereal species for introduction in Eastern Kazakhstan]. *Rol botanicheskikh sadov v okhrane i obogashchenii rastitel'nogo mira — Role of botanical gardens in storage and enrichment of plant world*. Kiev: Ukrvuzpoligraf, 1; 117, 118 [in Russian].
- 15 Danilova, A.N., & Sumbembayev, A.A. (2014). Resource Evaluation of Production Massifs *Agropyron pectinatum* at Kalbinsky Ridle. *European Researcher*, 5–1 (74); 809–817.
- 16 Danilova, A.N. & Sumbembayev, A. A. (2016). *Khoziaistvenno-tsennye rasteniia Kazakhstanskogo Altaia [Practical-value plants of Kazakhstani Altai]*. Lambert Academic Publishing [in Russian].
- 17 Egorina, A.V., Zinchenko, Yu.K., & Zinchenko, E.S. (2003). *Fizicheskaia geografiia Vostochnogo Kazakhstana [Physical geography of Eastern Kazakhstan]*. Ust-Kamenogorsk: Alfa-Press [in Russian].
- 18 Danilova, A.N., Sumbembayev, A.A., & Kotukhov, Yu.A. (2021). Adaptatsionnaia otsenka *Syripedium macranthon* Sw. v Altaiskom botanicheskom sadu [Adaptation assessment of *Syripedium macranthon* Sw. in Altai botanical garden]. *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii — Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia*, 20, (1); 151–155 [in Russian].
- 19 Bykov, B.A. (1957). *Geobotanika [Geobotany]*. Alma-Ata: Izdatelstvo Akademii nauk Kazakhskoi SSR [in Russian].
- 20 Zaitsev, G.N. (1973). *Metodika biometricheskikh raschetov [Methodic of biometric accounting]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 21 Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta [Methodic of field experiment]*. Moscow: Agroprodukt [in Russian].
- 22 Lishchuk, S.S. (1991). Metodika opredeleniia massy semian [Methodic of determination of mass of seeds]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical Journal*, 76 (11); 1623, 1624 [in Russian].
- 23 Koniushkov, N.S. (1961). Metodika opytnykh rabot na senokosakh i pastbishchakh [Methods of experimental work on hay-fields and pastures]. Moscow: Selkhozizdat [in Russian].
- 24 *Agroklimaticheskie resursy Vostochno-Kazakhstanskoi oblasti [Agro-climatic resources of Eastern-Kazakhstan region]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].

А.Ш. Додонова*, Д.Д. Антипова

*Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан***Автор для корреспонденции: sasha_dodonova1@mail.ru*

Изучение влияния способа внесения криопротекторов на сохранение семенного материала мяты длиннолистной при криоконсервации

Представленная статья посвящена оптимизации условий криохранения семенного материала мяты длиннолистной. Мята длиннолистная — эфиромасличное растение, активно применяемое в парфюмерной, фармацевтической и пищевой промышленности. В экспериментах по криохранению использованы следующие эндоцеллюлярные и экзоцеллюлярные криопротекторы: поливинилпирролидон (ПВП), глицерин и диметилсульфоксид (ДМСО). Кроме того, исследовано влияние на сохранение ростовых характеристик семян при криоконсервации способа внесения криопротектора: при комнатной температуре и на ледяной бане. Исходная всхожесть семян мяты длиннолистной составила $76,3 \pm 2$ %, а энергия прорастания — $70,3 \pm 1,8$ %. При замораживании в жидком азоте без применения криопротекторов всхожесть составила $64,9 \pm 0,8$ %, а энергия прорастания — $18,95 \pm 0,2$ %. Следует отметить, что именно показатель энергии прорастания оказался чувствительным к депонированию семенного материала при экстремально низких температурах. Анализ результатов сохранения жизнеспособности семян мяты длиннолистной при замораживании их в криопротекторах различного состава в случае внесения их при комнатной температуре показал, что тенденция резкого снижения энергии прорастания наблюдается во всех вариантах эксперимента. Наилучшими вариантами криопротекторов для сохранения ростовых характеристик семенного материала оказались ДМСО 2,5 % и ПВП 3 %, вносимые на ледяной бане. Всхожесть семян, сохраняемых в этих криопротекторах, составила $85,8 \pm 3,1$ % и $87,6 \pm 2,3$ % соответственно. Таким образом, выявлено, что оптимальным способом внесения криопротекторов при криоконсервации семян мяты длиннолистной является температура, близкая к 0°C , в этом случае серьезно повышается как всхожесть, так и энергия прорастания семян.

Ключевые слова: криохранение, криоконсервация, криопротектор, семенной материал, мята длиннолистная, всхожесть, энергия прорастания, ледяная баня.

Введение

Сокращение биологического разнообразия — одна из глобальных проблем современности. Переоценить негативные последствия исчезновения любого вида сложно. В настоящее время существует множество методов, позволяющих сохранять гермоплазму. Простым и в то же время эффективным методом сохранения семенного материала является криоконсервация. Этот метод в случае оптимизации условий замораживания, отогрева, состава криопротекторов позволяет сохранять жизнеспособность биологического материала практически на 100 % в течение неограниченного времени. Следует отметить, что влияние на сохранение жизнеспособности биологического объекта оказывают и температура внесения криопротектора, и скорость замораживания, и способ отогрева [1, 2].

Цель нашего исследования — сравнение сохранения ростовых показателей семенного материала мяты длиннолистной при криохранении в случае применения разных способов внесения криопротекторов.

Материалы и методы исследования

Мята длиннолистная (*Mentha longifolia* (L.) Huds.) — многолетнее травянистое растение, вид рода семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Эфирное масло мяты применяют при невралгиях, ревматизме, а также в качестве ароматического средства [3, 4].

Замораживание семян проводили в пластиковых пробирках. Предварительно готовили растворы криопротекторов заданных концентраций. Вносили криопротекторы двумя способами: при комнатной температуре и на ледяной бане. После инкубации с криопротекторами в течение 10–15 мин осуществляли быстрое замораживание прямым погружением в жидкий азот. Оттаивание проводили медленное, при комнатной температуре. После отогревания криопротекторы трехкратно отмывали дистиллированной водой.

Отмытые семена высаживали в чашки Петри на два слоя фильтровальной бумаги для определения сохранения их жизнеспособности.

Жизнеспособность семян определяли по двум показателям — всхожесть и энергия прорастания [5]. Все эксперименты проводили в трех повторностях.

Результаты и их обсуждение

Исходная всхожесть семян мяты длиннолистной составила $76,3 \pm 2$ %, а энергия прорастания — $70,3 \pm 1,8$ %. При замораживании в жидком азоте без применения криопротекторов жизнеспособность семенного материала значительно уменьшилась. Всхожесть составила $64,9 \pm 0,8$ %, а энергия прорастания стала меньше почти в 4 раза — $18,95 \pm 0,2$ %. Следует отметить, что именно показатель энергии прорастания оказался чувствительным к депонированию семенного материала при экстремально низких температурах.

Анализ результатов (см. табл.) сохранения жизнеспособности семян мяты длиннолистной при замораживании их в криопротекторах различного состава в случае внесения их при комнатной температуре показал, что тенденция резкого снижения энергии прорастания наблюдается во всех вариантах эксперимента. Наибольшее падение этого показателя видим при замораживании семян в поливинилпирролидоне (ПВП) — $8,7 \pm 0,1$ % и $8,4 \pm 0,2$ %. Лучшее всего данная ростовая характеристика сохраняется при использовании в качестве криопротектора глицерина — 26–32 %. В целом, использование криопротекторов в том случае, когда семенной материал погружали в них при комнатной температуре, не способствовало улучшению сохранности биообъекта; а замораживание в диметилсульфоксиде (ДМСО) и ПВП привело к меньшей степени выживания по сравнению с криодепонированием семян мяты длиннолистной без криопротекторов.

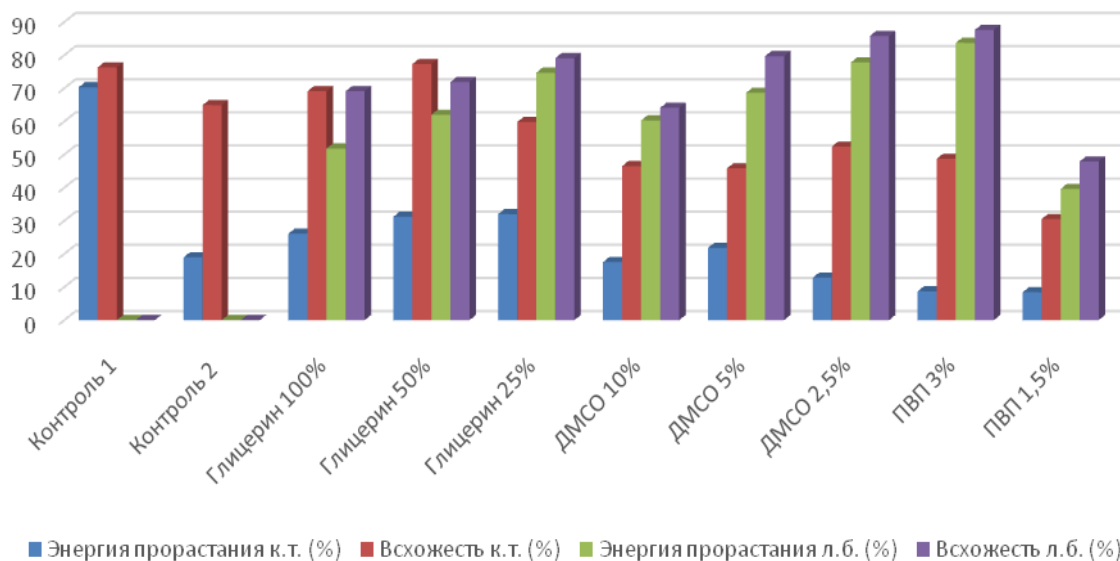
Т а б л и ц а

Влияние различных криопротекторов и способов их внесения на ростовые характеристики семенного материала мяты длиннолистной после криоконсервации

Криопротекторы	Внесение криопротектора при комнатной температуре		Внесение криопротектора на ледяной бане	
	энергия прорастания, %	всхожесть, %	энергия прорастания, %	всхожесть, %
Контроль 1 (исходная всхожесть)	$70,3 \pm 1,8$	$76,3 \pm 2$	—	—
Контроль 2 (замораживание без криопротекторов)	$18,95 \pm 0,2$	$64,9 \pm 0,8$	—	—
Глицерин 100 %	$26,1 \pm 1,2$	$69,1 \pm 2,2$	$51,8 \pm 0,6$	$69,1 \pm 0,6$
Глицерин 50 %	$31,2 \pm 0,9$	$77,3 \pm 2,1$	$62 \pm 0,6$	$71,9 \pm 0,7$
Глицерин 25 %	$32 \pm 0,8$	$59,8 \pm 1,5$	$74,7 \pm 0,65$	$79,1 \pm 1,1$
ДМСО 10 %	$17,5 \pm 0,2$	$46,5 \pm 0,5$	$60,3 \pm 1,1$	$64,1 \pm 1,2$
ДМСО 5 %	$21,8 \pm 0,2$	$45,8 \pm 0,4$	$68,6 \pm 1,2$	$79,7 \pm 2,2$
ДМСО 2,5 %	$12,8 \pm 0,1$	$52,4 \pm 0,5$	$77,82 \pm 2,1$	$85,8 \pm 3,1$
ПВП 3 %	$8,7 \pm 0,1$	$48,7 \pm 0,5$	$83,7 \pm 2$	$87,6 \pm 2,3$
ПВП 1,5 %	$8,4 \pm 0,2$	$30,5 \pm 0,3$	$39,6 \pm 0,5$	$47,9 \pm 0,7$

Только замораживание семян в 50 и 100 %-ном глицерине позволило сохранить жизнеспособность семенного материала практически на исходном уровне. Всхожесть семян в этом варианте эксперимента составила $69,1 \pm 2,2$ % и $77,3 \pm 2,1$ % соответственно, что составляет 90,5 % и 101,3 % от исходных показателей.

Чрезвычайно интересные результаты были получены в случае внесения криопротекторов при температуре 0 °С, т.е. на ледяной бане. В этом варианте эксперимента при замораживании в любом типе криопротектора значительно возросла сохранность чувствительного у этого вида показателя — энергии прорастания. При применении глицерина 25 %, ДМСО 2,5 % и ПВП 3 % энергия прорастания превысила исходные значения, т.е. мы наблюдаем стратификационный эффект криодепонирования. А если сравнивать этот показатель с данными, полученными в экспериментах «теплого» внесения криозащитных средств, то эта характеристика выше в 9,7 раза у ПВП 3 % и в 6 раз у ДМСО 2,5 % (см. рис.).



к.т. — внесение криопротектора при комнатной температуре; л.б. — внесение криопротектора на ледяной бане

Рисунок. Зависимость сохранения жизнеспособности семян мяты длиннолистной от криопротекторов, их концентрации и способа внесения

Наилучшими вариантами криопротекторов для сохранения ростовых характеристик семенного материала оказались ДМСО 2,5 % и ПВП 3 %. Всхожесть семян, сохраняемых в этих криопротекторах, составила $85,8 \pm 3,1$ % и $87,6 \pm 2,3$ % соответственно, что выше исходной характеристики на 9,5 % и 11,3 %.

Интересно отметить, что увеличение концентрации эндоцеллюлярного криопротектора ДМСО до 5 и 10 % приводило к снижению выживаемости семенного материала мяты длиннолистной при криоконсервации, что, вероятно, связано с его токсическим эффектом. Хотя показатели эти и меньше наиболее оптимальных, но все равно способствуют лучшему сохранению биологического объекта, чем без применения криопротекторов. Относительно экзоцеллюлярного криопротектора, ПВП отмечаем, что снижение его концентрации до 1,5 % в криозащитном растворе приводило к серьезному снижению выживаемости семян. Ростовые характеристики в этом варианте опыта были меньше, чем в случае замораживания семян в жидком азоте без криопротекторов.

Некоторые исследователи отмечают, что глицерин при температуре, близкой к температуре кристаллизации воды, может вести себя как экзоцеллюлярный криопротектор; этот эффект наблюдают на некоторых типах клеток. Возможно, результаты, полученные в нашем эксперименте, связаны с этим эффектом, так как серьезного улучшения сохранности жизнеспособности семян по показателю всхожести не наблюдали, в отличие от вариантов с другими криопротекторами. Хотя к повышению чувствительной характеристики — энергии прорастання изменение способа внесения глицерина привело. Энергия прорастання семян выше почти в 2 раза, по сравнению с внесением глицерина при комнатной температуре.

Можно предположить, что механизм наблюдаемого эффекта лучшего сохранения показателей жизнеспособности семян при низкотемпературном внесении криопротекторов перед криоконсервацией связан с несколькими факторами. Во-первых, это адаптация или, как еще называют, снижение сенсibilизации клеток зародыша семени при предварительном охлаждении до точки кристаллизации воды. Такое двухступенчатое охлаждение приводит к дегитратации клеток, а, значит, к меньшим повреждениям от внутриклеточной кристаллизации. Во-вторых, при более низких температурах происходит торможение обмена веществ, а в связи с этим и меньшее токсическое воздействие криопротектора на клетки зародыша семени. Важно отметить, что на примере криоконсервации семенного материала мяты длиннолистной мы наблюдаем значимость самых разных факторов и условий замораживания и отогрева на количество выживаемого при криодепонировании биологического материала, в частности — температуры внесения криопротектора.

Заклучение

Оптимизация условий замораживания биологических объектов в жидком азоте, а именно скорость снижения температуры, состав и количество криопротекторов, температурные условия их внесения, условия отогрева, иногда даже тара, используемая для криоконсервации, способствуют тому, что живые объекты могут сохраняться длительное время без потери жизнеспособности.

Нами рассмотрено влияние криопротекторов, их концентраций и способов внесения на сохранение ростовых характеристик семенного материала мяты длиннолистной при депонировании в жидком азоте. Выявлено, что оптимальным способом внесения криопротекторов является температура, близкая к 0 °С, в этом случае серьезно повышается как всхожесть, так и энергия прорастания семян.

Наилучшим вариантом криопротектора для криоконсервации семян мяты длиннолистной является поливинилпирролидон в концентрации 3 %, ростовые характеристики семенного материала в этом случае превышали исходные показатели на 10 %.

Список литературы

- 1 Kaviani B. Conservation of plant genetic resources by cryopreservation / B. Kaviani // Australian Journal of Crop Science. — 2011. — Vol. 5, No. 6. — P. 778–800.
- 2 Белоус А.М. Кробиология / А.М. Белоус, В.И. Грищенко. — Киев: Наук. думка, 1994. — 432 с.
- 3 Дудченко Л.Г. Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения: справоч. / Л.Г. Дудченко, А.С. Козьяков, В.В. Кривенко. — Киев: Наук. думка, 1989. — 304 с.
- 4 Губанов И.А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. — Т. 3. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И.А. Губанов. — М.: Изд-во КМК, 2004. — 520 с.
- 5 Зорина М.С. Определение семенной продуктивности и качества семян интродуцентов / М.С. Зорина, С.П. Кабанов // Методики интродукционных исследований в Казахстане. — Алма-Ата: Наука, 1986. — С. 75–85.

А.Ш. Додонова, Д.Д. Антипова

Криопротекторларды енгізу әдісінің криоконсервация кезінде ұзынжапырақты жалбыздың тұқымдық материалын сақтауға әсерін зерттеу

Мақала ұзынжапырақты жалбыздың тұқымдық материалын криоконсервациялау шарттарын оңтайландыруға арналған. Ұзынжапырақты жалбыз парфюмерия, фармацевтика және тамақ өнеркәсібінде белсенді қолданылатын эфирмайлы өсімдік. Криоконсервациялау эксперименттерінде мына ішкі жасушалық және экзоклеткалық криопротекторлар қолданылды: поливинилпирролидон (PVP), глицерин және диметисульфоксид (DMSO). Сонымен қатар, криопротекторды енгізу әдісімен бөлме температурасында және мұз ваннасында криоконсервациялау кезінде тұқымның өсу сипаттамаларының сақталуына әсері зерттелген. Ұзынжапырақты жалбыз тұқымдарының бастапқы өнуі $76,3 \pm 2\%$, өну энергиясы $70,3 \pm 1,8\%$ болды. Сұйық азотта криопротекторларды қолданбай мұздатқанда өну жылдамдығы $64,9 \pm 0,8\%$, өну энергиясы $18,95 \pm 0,2\%$ құрады. Бұл өте төмен температурада тұқымдық материалдың шөгуіне сезімтал болып шыққан өну энергиясының көрсеткіші екенін атап өткен жөн. Ұзынжапырақты жалбыз тұқымдарын бөлме температурасында енгізген жағдайда әртүрлі құрамдағы криопротекторларда мұздатқан кезде олардың өміршеңдігін сақтау нәтижелерін талдау өнгіштік энергиясының күрт төмендеуі тенденциясы эксперименттің барлық нұсқаларында байқалатынын көрсетті. Тұқымдық материалдың өсу сипаттамаларын сақтау үшін криопротекторлардың ең жақсы нұсқалары мұз ваннасында қолданылатын DMSO 2,5 % және PVP 3 % болды. Осы криопротекторларда сақталған тұқымдардың өнгіштігі сәйкесінше $85,8 \pm 3,1\%$ және $87,6 \pm 2,3\%$ құрады. Осылайша, ұзынжапырақты жалбыз тұқымын криоконсервациялау кезінде криопротекторларды қолданудың ең жақсы тәсілі 0°C-қа жақын температура екені анықталды, бұл жағдайда өнгіштік те, тұқымның өну энергиясы да айтарлықтай артады.

Кілт сөздер: криосақтау, криоконсервациялау, криопротектор, тұқымдық материал, ұзынжапырақты жалбыз, өну, өну энергиясы, мұз моншасы.

A.Sh. Dodonova, D.D. Antipova

Study of the effect of the method of applying cryoprotectors on the preservation of *Mentha longifolia* seed material during cryopreservation

This article is devoted to optimizing the conditions for cryopreservation of seed material of *Mentha longifolia*. *Mentha longifolia* is an essential oil plant that is actively used in the perfumery, pharmaceutical and food industries. The cryopreservation experiments use the following endocellular and exocellular cryoprotectants: polyvinylpyrrolidone (PVP), glycerol, and dimethylsulfoxide (DMSO). In addition, we study the effect of the growth characteristics of seeds on the preservation during cryopreservation of the method of applying a cryoprotectant: at room temperature and in an ice bath. The initial germination of long-leaved mint seeds is 76.3 ± 2 %, and the germination energy is 70.3 ± 1.8 %. When frozen in liquid nitrogen without the use of cryoprotectants, the germination rate was 64.9 ± 0.8 %, and the germination energy was 18.95 ± 0.2 %. It should be noted that the germination energy indicator turned out to be sensitive to the deposition of seed material at extremely low temperatures. An analysis of the results of maintaining the viability of long-leaved mint seeds when they are frozen in cryoprotectants of various compositions in the case of their introduction at room temperature indicates that the tendency for a sharp decrease in germination energy is observed in all variants of the experiment. The best options for cryoprotectants to preserve the growth characteristics of the seed material are DMSO 2.5 % and PVP 3 % applied in an ice bath. The germination of seeds stored in these cryoprotectants is 85.8 ± 3.1 % and 87.6 ± 2.3 %, respectively. Thus, it is found that the best way to apply cryoprotectants during cryopreservation of long-leaved mint seeds is a temperature close to 0 °C; in this case, both germination and seed germination energy are seriously increased.

Keywords: cryopreservation, cryoconservation, cryoprotectant, seed material, long-leaved mint, germination, germination energy, ice bath.

References

- 1 Kaviani, B. (2011). Conservation of plant genetic resources by cryopreservation. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (6); 778–800.
- 2 Belous, A.M., & Grishchenko, V.I. (1994). *Kriobiologiya [Cryobiology]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
- 3 Dudchenko, L.G., Koziakov, A.S., & Krivenko, V.V. (1980). Priano-aromaticheskie i priano-vkusovye rasteniia: spravochnik [Spicy-aromatic and spicy-flavoring plants: reference book]. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
- 4 Gubanov, I.A. (2004). *Illustrirovannyi opredelitel rastenii Srednei Rossii. T. 3. Pokryosemnyye (dvudolnye: razdelnolepestnye) [Illustrated determinant of plants of Middle Asia. Vol. 3. Magnoliophyta (Dicotyledones, Polypetalae)]*. Moscow: Publishing house KMK [in Russian].
- 5 Zorina, M.S., & Kabanov, S.P. (1986). Opredelenie semЕННОI produktivnosti i kachestva semian introdutsentov [Assessment of quality of seeds of introduced plants]. *Metodiki introduktsionnykh issledovaniy v Kazakhstane — Methodology of introduction study in Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka, 75–85 [in Russian].

Н.И. Дуйсенова*, Ш. Гани

*Мангышлакский экспериментальный ботанический сад, Актау, Казахстан***Автор для корреспонденции: Nurzhaugan_84@mail.ru*

Результаты интродукции сорта *Chrysanthemum* L. в условиях Мангистау

В статье представлены результаты интродукционного изучения сортов хризантемы корейской в коллекции Мангышлакского экспериментального ботанического сада. В результате проведенных в 2018–2020 гг. фенологических наблюдений за 26 сортами хризантемы выявлено, что интродуценты являются длительно-вегетирующими. Продолжительность фенологических фаз в большей степени зависит от биологических особенностей сорта и метеорологических условий года. В течение трёхлетнего периода наблюдений по срокам цветения в аридных условиях Мангистау выделены 4 группы сортов хризантемы: ранние, средние, средне-поздние, поздние сорта. Общая продолжительность цветения сортов хризантемы в среднем составила от 20 до 45 дней. Цветение ранних сортов длится около 25–28 дней, средних и средне-поздних — от 35 до 45, поздних — около 25 дней. Дана оценка декоративных и биологических свойств сортов хризантемы. В результате проведенной комплексной оценки выявлены наиболее перспективные сорта хризантем, которые позволяют создавать декоративные цветочные композиции различных типов в условиях аридной зоны Мангистау, тем самым пополняя ассортимент декоративных многолетних растений новыми сортами.

Ключевые слова: хризантема, сорта, интродукция, фенология, оценка, Мангистау.

Введение

Chrysanthemum L. — род однолетних и многолетних растений семейства *Asteraceae*, произрастающих в умеренных и субтропических областях Восточной Азии. Многие виды и сорта *Chrysanthemum* относятся к числу популярных осенне-цветущих культур, которые сравнительно неприхотливы в культуре и широко используются в озеленении и цветочной аранжировке в странах Европы и Азии [1–5]. Тем не менее при озеленении в аридных условиях Мангистау хризантемы мало распространены и практически не используются в осенних цветочных композициях. Такое пренебрежение объясняется, тем, что хризантемы изучены недостаточно, отсутствует необходимый сортовой посадочный материал.

Крупные центры интродукции *Chrysanthemum* созданы в ботанических садах Украины (Киев, Ялта, Донецк, Кривой Рог, Харьков и другие) и России (Москва, Владивосток, Новосибирск, Сочи), где достигнуты положительные результаты, благодаря чему хризантемы становятся более популярными. По результатам сортоизучения во многих регионах России и Украины разработан ассортимент хризантем, отвечающий требованиям промышленного цветоводства [6–13]. Известно, что многие из этих растений, интродуцированные в другие климатические условия, не проявляют в полной мере своих декоративных качеств. Проведение исследований по оценке сортов дает возможность выявить наиболее перспективные таксоны, максимально проявляющие в новых условиях интродукции свои биологические и декоративные свойства.

В связи с этим целью нашей работы являлось выявить адаптационные возможности сортов хризантемы в аридных условиях Мангистау и предложить предварительный сортимент для выращивания в открытом грунте и применения в зеленом строительстве.

Объект и методы исследования

Работа по интродукции сортов хризантемы проводилась в 2018–2020 гг. на территории Мангышлакского экспериментального ботанического сада, расположенного в аридных условиях Мангистау на крайнем юго-западе Казахстана. Территория относится к пустынной зоне, климат отличается резкой континентальностью, короткой, малоснежной, но довольно теплой зимой и жарким продолжительным летом.

В годы наблюдений (2018–2020 гг.) среднегодовая температура воздуха составляла +13,2...+14,8 °С, абсолютный годовой минимум –13 °С, максимум +48 °С. Среднее годовое количество

во осадков равно 12,7–19,4 мм. Снежный покров в зимний период практически отсутствует, также отмечена летняя засуха. Метеоданные за изучаемый период представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Метеорологические данные периода наблюдений

Месяц	Среднемесячная температура, °С			Минимальная температура воздуха, °С			Максимальная температура воздуха, °С			Осадки, мм		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Январь	0,8	1,2	0,0	–9	–11	–13	16	14	13	23	21	14
Февраль	0,3	0,7	–0,5	–9	–11	–13	18	16	15	23	21	14
Март	6,4	6,8	5,6	–2	–4	–6	24	22	21	28	26	19
Апрель	13,6	14,0	12,8	7	5	3	33	31	30	25	23	16
Май	20,4	20,8	19,6	13	11	9	39	37	36	22	20	13
Июнь	27,7	27,0	24,6	21	21	18	43	40	38	8	4	6
Июль	30,7	30,0	27,6	19	19	16	42	39	37	9	5	7
Август	29,9	29,2	26,8	21	21	18	48	45	43	8	4	6
Сентябрь	24,9	24,2	21,8	15	15	12	39	36	34	11	7	9
Октябрь	14,4	14,8	13,6	4	2	0	30	28	27	24	22	15
Ноябрь	7,3	7,7	6,5	1	–1	–3	24	22	21	26	24	17
Декабрь	1,8	2,2	1,0	–4	–6	–8	17	15	14	26	24	17
Сумма	14,8	14,8	13,2	6,4	5,0	2,7	31,1	28,7	27,4	19,4	16,7	12,7

Объектом наших исследований послужили 27 сортов хризантемы, интродуцированные в 2016–2017 гг. корневищами из Никитского ботанического сада (г. Ялта), Центрального ботанического сада Белоруси (г. Минск) и Ботанического сада МГУ им. Ломоносова (г. Москва).

Выращивание посадочного материала и уход за растениями осуществлялся по региональным рекомендациям ботанического сада [14]. Фенологические наблюдения проводились по методике, рекомендованной для ботанических садов [15, 16]. Морфологические особенности сортов хризантемы изучали по стандартной методике, разработанной Р.А. Карписоновой [17, 18]. Для определения перспективности интродукции сортов хризантемы нами проведена оценка их хозяйственно-биологических и декоративных свойств по методике В.Н. Былова [19]. Статистическая обработка материалов исследований проводили с помощью компьютерной программой Excel по методике Г.Н. Зайцева [20].

Результаты и обсуждение

Интродукция хризантем в коллекцию МЭБС началась с 1975 г. Первыми были завезены корневища *Chrysanthemum hortorum* сорта — «Букурия», «Фокушор», «Учительская», из Национального ботанического сада (г. Киев), в 1976 г. из ботанического сада г. Алматы привлечен сорт «Сиреневая ранняя». Позже в 1979 г. из Каунасского ботанического сада привнесены сорта «Парад», «Елка». В 1990 г. коллекция цветочно-декоративных растений пополнилась из г. Ташкента 2 новыми сортами *Chrysanthemum indicum* (G) Des. Moul — «Малая Земля» и «Кудесник» [21, 22]. Наибольшее количество сортов хризантемы привлечены с 2016 по 2019 гг. В настоящий момент в коллекции сада имеется 27 сортов хризантемы российской и украинской селекции.

Успех интродукции растений оценивают по общему поведению растений и комплексу признаков, важнейшим из которых является полнота завершения онтогенеза и цикла сезонного развития. Для установления особенностей сезонного роста и развития растений и накопления данных, характеризующих их устойчивость в новых условиях при интродукции, за всеми сортами коллекции систематически ведутся фенологические наблюдения.

У хризантемы садовой, как у длительно вегетирующего растения, в течение вегетационного периода (с апреля по декабрь) фиксировались основные фенологические фазы развития растений: весеннее отрастание (В1), активный рост побегов (В2), бутонизация (Б), начало цветения (Ц1) и окончание цветения (Ц2), окончание вегетации (Л2). Определялся период цветения (Ц1–Ц2), а также период вегетации растений (В1–Л2). Результаты наблюдений представлены в таблице 2.

Результаты фенологических наблюдений за сортами хризантем в условиях МЭБС

Наименование сорта	Даты наступления фенологических фаз (средние значение)						Ц1-Ц2	В1-Л2
	В1	В2	Б	Ц1	Ц2	Л2		
Айса	17.04±4,8	18.05±1,1	03.09±1,0	26.09±1,0	27.10±1,4	20.11	28±2,1	217±4,4
Адента	14.04±3,3	17.05±3,7	16.09±1,3	12.10±1,4	13.11±1,0	26.11±1,0	31±2,0	225±3,7
Артлет	15.04±4,7	17.05±2,4	25.09±2,3	29.10±2,1	20.11±3,3	27.11±2,0	23±2,0	226±3,9
Бархан	15.04±4,0	18.05±3,4	28.08±3,8	19.09±2,6	25.10±4,1	23.11±2,2	35±3,2	221±2,3
Бело-зеленая полумахровая	16.04±5,2	15.05±0,6	25.09±1,4	29.10±1,0	16.11±1,6	23.11±1,6	18±0,6	220±3,9
Венский бал	17.04±5,8	12.04±1,4	16.05±0,8	05.06±1,4	07.07±1,9	13.11±2,5	33±5,1	208±4,3
Гранатовый браслет	17.04±4,6	14.05±0,3	28.08±0,8	18.09±0,6	26.10±1,6	11.11±0,6	39±1,0	207±5,0
Деловар	16.04±4,1	13.05±0,7	14.09±2,5	12.10±2,1	09.11±3,6	26.11±2,4	28±2,8	223±4,3
Диана	13.04±4,3	17.05±3,8	18.09±3,4	11.10±1,9	07.11±1,7	23.11±2,1	28±1,7	221±2,7
Звездопад	16.04±3,5	14.05±2,7	25.08±0,7	20.09±2,2	24.10±2,0	14.11±1,0	33±0,3	214±3,5
Златовласка	13.04±3,8	03.05±1,8	15.05±1,0	08.06±0,6	07.07±1,0	01.11±1,5	27±1,4	197±2,0
Золотая амфора	16.04±3,2	03.05±1,1	16.05±2,3	09.06±1,4	08.07±0,9	01.11±1,0	29±3,0	196±3,2
Калиновый гай	18.04±4,1	16.05±2,3	14.09±1,5	10.10±2,0	12.11±1,2	22.11±2,1	27±2,3	220±3,4
Камелия	15.04±2,7	20.05±2,5	27.08±1,6	24.09±0,8	02.11±0,6	13.11±2,1	37±2,4	216±3,1
Корейнка	17.04±5,1	13.05±1,7	23.08±1,2	24.09±1,5	26.10±0,7	13.11±1,0	34±2,1	214±4,3
Лелия	16.04±3,5	13.05±0,8	25.08±1,4	22.09±1,3	27.10±1,7	11.11±1,6	35±2,4	211±5,6
Листопад	15.04±3,5	09.05±2,9	23.08±2,0	19.09±0,8	26.10±0,6	13.11±1,6	36±1,4	214±3,8
Махровый бледно-розовый	15.04±3,2	05.05±0,4	15.05±1,0	08.06±2,1	08.07±1,4	08.11±2,0	27±1,6	210±3,2
Мишаль	14.04±2,0	18.05±1,2	25.08±0,5	20.09±0,9	08.11±1,3	23.11±1,7	48±2,1	217±4,7
Незнакомка	16.04±4,3	17.05±2,1	29.08±1,2	27.09±0,6	02.11±2,6	20.11±2,8	39±3,4	215±3,6
Опал	13.04±3,8	17.05±3,8	28.08±1,1	25.09±1,1	30.10±1,2	09.11±1,0	36±2,3	209±3,0
Пектораль	16.04±4,4	17.05±1,4	14.09±1,3	02.10±3,2	13.11±1,6	23.11±1,6	42±1,2	220±4,0
Плюшевый мишка	14.04±3,7	18.05±2,7	13.09±2,3	04.10±1,4	04.11±1,6	15.11±1,0	30±1,7	213±3,7
Терракот	15.04±5,1	20.05±2,6	13.09±1,0	06.10±2,9	12.11±2,6	27.11±2,0	37±4,7	224±3,5
Товн	15.04±4,9	18.05±3,0	28.09±2,7	26.10±0,8	17.11±1,4	27.11±2,0	21±0,5	224±3,4
Перстень Королевы	15.04±4,9	11.05±1,3	27.08±1,6	18.09±1,1	04.11±1,4	13.11±1,6	47±2,6	210±4,2

Продолжительность фенологических фаз зависит от метеорологических факторов и года исследования. Начало вегетации всех сортов приходится на середину апреля при стабильном переходе среднесуточных температур через +5...+7 °С. За период наблюдений самая высокая среднемесячная температура воздуха на начало вегетации отмечена в 2019 г., она составила 14 °С, и вегетация растений в этом году началась на 10–14 дней раньше, чем в другие годы. Самые ранние сроки начала вегетации отмечены с 6 по 14 апреля 2019 г., самые поздние — с 19 по 28 апреля 2018 г.

Активный вегетативный рост растений у всех сортов проходил в период с 5 по 22 мая, и также зависел от конкретного года наблюдений. Самые ранние сроки активного роста отмечены в 2019–2020 гг. (с 5 по 12 мая), самые поздние в 2018 г. (с 15 по 22 мая). Поздняя вегетация в 2018 г. связана с адаптацией первичной интродукции растений.

Согласно теории информации, у травянистых многолетников основной фенофазой, определяющей ход других, являются сроки и продолжительность цветения, так как от этих показателей зависит период наибольшей декоративности растений [23].

В течение трёхлетнего периода фаза бутонизации и цветения сортов хризантемы наблюдалась в разные сроки. С момента бутонизации до массового цветения у ранних сортов проходит в среднем около 23–25 дней. Хризантемы средних и средне-поздних сроков цветения зацветают приблизительно через 24–27 дней после начала бутонизации. У поздних сортов до начала цветения проходит 35 дней.

По срокам цветения в аридных условиях Мангистау нами выделены 4 группы:

- ранние, зацветающие с 5 июня по 8 июля. В коллекции имеются 4 сорта хризантем этой группы — «Венский бал», «Златовласка», «Золотая амфора», «Махровая бледно-розовая»;
- средние, соцветия которых начинают открываться с 18 по 27 сентября и продолжаются до 27 октября–8 ноября. В коллекции имеются 11 сортов хризантем данной группы: «Бархан», «Гранатовый браслет», «Звездопад», «Камелия», «Листопад», «Перстень королевы», «Лелия», «Мишаль», «Незнакомка», «Опал», «Кореянка»;
- средне-поздние, зацветающие со 2 по 12 октября и продолжающиеся до 4–12 ноября. В коллекции 8 сортов: «Пектораль», «Айса», «Диана», «Деловар», «Адента», «Плюшевый мишка», «Калиновый гай», «Терракот»;
- поздние сорта, зацветают в конце октября (27–29 октября) и цветут по ноябрь (23–27 ноября). В коллекции имеется 3 сорта: «Артлет», «Товн», «Бело-зеленая крупноцветковая».

Сроки цветения и продолжительность цветения сортов хризантемы «Кореянка» в большей степени зависят от биологических особенностей сорта, а также изменяются в зависимости от температурных и световых условий сезона. Считается, что высокая температура при интенсивном освещении не только тормозит рост хризантем, но и отрицательно сказывается на бутонизации и цветении растений. По мнению многих авторов, наиболее оптимальная температура для образования бутона +18...+20 °С [6, 8, 9]. Температура выше +25 °С тормозит развитие цветков, при повышении температуры до +30 °С бутонизация приостанавливается.

Подобные ситуации наблюдаются нами в июне–июле, когда высокие экстремальные температуры воздуха (+35 °С и выше), горячие суховеи и практически полное отсутствие осадков отрицательно сказываются на цветении ранне-цветущих сортов хризантем («Венский бал», «Златовласка», «Золотая амфора», «Махровая бледно-розовая») и их декоративности.

Снижение температуры воздуха в конце августа–сентября благоприятно отразилось на бутонизации и цветении хризантем со средним и средне-поздним сроками цветения. Теплая продолжительная осень с незначительными заморозками увеличила продолжительность цветения и стимулировала зацветание поздних сортов.

В целом, за период наблюдения сроки цветения, в зависимости от биологических особенностей каждого сорта, прошли в свое время с несущественной разницей. Продолжительность цветения сортов хризантемы имеет широкую амплитуду от 18 до 48 дней, в среднем 33–36 дней. Наиболее короткий период цветения наблюдается у сортов хризантем ранней и поздней групп, так как наличие жаркого, сухого летнего воздуха, сильные ветра, а также морозный ноябрьский холод негативно влияют на период цветения.

По сравнению с двумя предыдущими годами наблюдений в 2020 г. продолжительность цветения завершилась раньше на 5–8 дней, по сравнению с датами, отмеченными в 2018–2019 гг. Потому что в октябре–ноябре температура воздуха была ниже, чем в другие годы. Общая продолжительность цветения сортов хризантемы в среднем составила от 20 до 45 дней. Цветение ранних сортов длится около 25–28 дней, средних и средне-поздних — от 35 до 45, поздних — около 25 дней (до устойчивых заморозков).

Согласно методике оценки успешности интродукции растений учитывался комплекс признаков, которые отражают особенности роста, развития и состояния растений при интродукции, имеющих наиболее существенное значение для практического применения. К числу этих признаков относятся: окраска соцветия, махровость и форма соцветия, размер соцветия, устойчивость соцветия к неблагоприятным погодным условиям, высота и форма куста, длительность периода цветения, общее состояние растений.

Окраска цветка является одним из наиболее важных показателей оценки сортов *Chrysanthemum*. В коллекции представлены сорта хризантемы корейской с соцветиями различной окраски. Больше всего хризантем с белыми («Незнакомка», «Венский бал», «Камелия»), желтыми («Золотая амфора», «Златовласка», «Мишаль», «Опал»), красными («Товн», «Калиновый гай», «Костер Дерсу», «Артлет», «Айса») и коричневыми («Пектораль», «Перстень Королевы», «Терракот», «Плюшевый мишка») соцветиями. В меньшем количестве представлены сорта с розовыми («Листопад», «Звездопад»), сиреневыми («Адента», «Лелия»), оранжево-розоватыми («Бархан»), бело-зелеными («Бело-зеленая крупноцветковая») и бронзовыми («Кореянка») соцветиями. Наиболее высокую оценку получили сорта «Мишаль», «Артлет», «Адента», «Товн», «Камелия», с чистой яркой или очень нежной окраской, устойчивой к выгоранию.

Немаловажным признаком при оценке декоративности сортов хризантемы является махровость соцветия. По типу соцветий сорта хризантем в коллекции МЭБС представлены немахровыми, полумахровыми и махровыми соцветиями (рис. 1).



А — немахровые

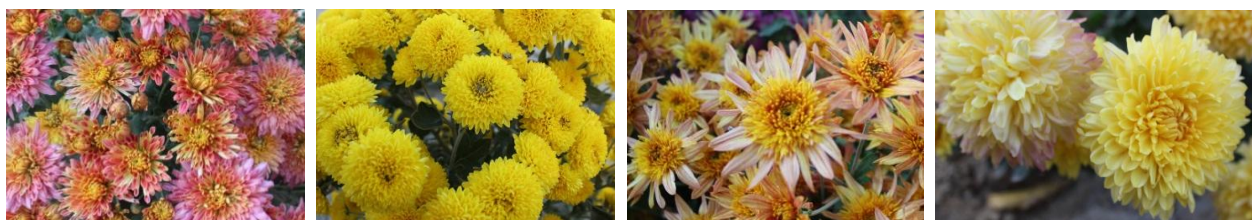
Б — полумахровые

В — махровые

Рисунок 1. Махровость соцветия хризантемы

Наибольшее количество сортов имеют махровую («Лелия», «Бархан», «Плюшевый мишка», «Кореянка», «Камелия», «Товн», «Опал», «Деловар» и др.), 4 сорта полумахровую («Орфей», «Калиновый гай», «Айса»), и 2 сорта — немахровую («Артлет», «Танго», «Перстень Королевы») форму соцветий.

Также важное значение при оценке декоративности имеет форма соцветия. По типу соцветий сорта хризантем в коллекции МЭБС представлены полушаровидными, шаровидными, помпонными и анемовидными (рис. 2).



А — полушаровидная

Б — шаровидная

В — анемовидная

Г — помпонная

Рисунок 2. Форма соцветия хризантемы

Наибольшее количество сортов имеют полушаровидные («Лелия», «Артлет», «Танго», «Плюшевый мишка», «Бархан», «Айса», «Товн» и др.), 3 сорта шаровидные («Золотая амфора», «Мишаль», «Деловар», «Пектораль», «Венский бал»), по 1-му анемовидные («Перстень Королевы») и помпонные («Опал») соцветия. Высокими показателями отличаются сорта хризантемы с махровой, полушаровидной и шаровидной формами («Мишаль», «Товн», «Адента», «Камелия»).

Значительным признаком при сортооценке имеет также размер соцветия. По размеру соцветия сорта хризантем делятся на крупно- и мелкоцветковые. Согласно «Методике государственного сортоиспытания декоративных культур», предпочтение отдается сортам хризантем с крупными соцветиями. Но следует отметить, что стебли таких сортов в ветреную погоду сильно полегают, снижая декоративность кустов. Коллекция представлена мелкоцветковыми сортами из популярной сейчас группы «Мультифлора» и крупноцветковыми хризантемами. Высокий балл по признаку размера соцветия получили сорта, у которых диаметр соцветий был больше 6 см — «Артлет», «Деловар», «Адента», «Камелия», «Орфей», «Опал», «Венский бал», «Незнакомка» и др. Более низкий балл получили сорта с меньшим диаметром соцветий: «Лелия», «Кореянка», «Терракот», «Листопад», «Диана».

При подборе перспективного сортимента в аридных условиях Мангистау с высокими требованиями к декоративным свойствам сорта большую роль играет оценка устойчивости соцветия к неблагоприятным погодным условиям. Из-за жарких дневных температур, сухости воздуха, знойных ветров, характерных для Мангистау в сентябре–октябре, у некоторых сортов хризантем теряется декоративность, листья буреют и сохнут, цветение ослабевает, цветки теряют окраску и выгорают. При оценке устойчивости соцветия к неблагоприятным погодным условиям установлено, что половина сортов хризантемы в коллекции МЭБС имеют соцветия, устойчивые к погодным условиям: «Мишаль», «Артлет», «Товн», «Адента», «Пектораль», «Камелия», «Золотая амфора». Соцветия осталь-

ных хризантем («Лелия», «Калиновый гай», «Бархан», «Венский бал», «Звездопад», «Опал» и др.) оказались неустойчивыми к жарким осенним погодам, так как у большинства сортов окраска соцветий теряет свой цвет, некоторые бледнеют, розовеют, желтеют.

По высоте куста сорта хризантемы разделены на низкорослые, средне- и высокорослые (рис. 3). Высота низкорослых сортов не превышает 40 см («Айса», «Лелия», «Звездопад», «Опал», «Золотая амфора», «Танго», «Мишаль») и они обладают сомкнутой формой куста.



Рисунок 3. Низкорослые, среднерослые и высокорослые хризантемы

Среднерослые хризантемы высотой до 40–65 см составляют 70 % коллекции. Они представлены в основном сортами среднего и среднепозднего срока цветения — «Перстень Королевы», «Гранатовый браслет», «Бархан» и др., которые имеют полураскидистую прямостоячую форму куста. Их можно использовать в озеленении без применения опоры. Высокослых сортов с высотой более 70 см куста в коллекционном фонде 9 %. Это в основном сорта с поздним сроком цветения — «Адента», «Товн», «Деловар». Их применяют в озеленении в привязке на субстрат. Предпочтение получили 4 сорта хризантемы («Айса», «Лелия», «Мишаль», «Танго») низкорослых с сомкнутой формой и 4 сорта среднерослых хризантем («Листопад», «Кореянка», «Незнакомка», «Камелия»), не требующие опоры.

Длительность периода цветения — промежуток времени от начала цветения до его окончания (засыхание последнего соцветия). Данный фенологический признак является изменчивым, который зависит от биологических особенностей сорта, сроков цветения и погодных условий местности. В основном в коллекции сорта хризантем имеют длительный период цветения. Наиболее продолжительным цветением отличаются сорта средне и позднее-цветущие хризантемы: «Деловар», «Мишаль», «Пектораль», «Терракот», «Адента», у которых продолжительность цветения составляет от 35 до 45 дней. Сравнительно непродолжительный период цветения отмечен у сортов очень ранних и поздних цветущих хризантем.

За период интродукционных испытаний отмечено, что в аридных условиях хризантемы зимуют хорошо, без дополнительного укрытия. Также все сорта хризантем отличаются высокой засухоустойчивостью. Выпадов в насаждениях, повреждений корневищ в течение летнего периода за годы исследований не отмечено. Определялась поражаемость хризантемы грибными болезнями и вредителями. В результате у молодых побегов интродуцентов наблюдалось поражение черной тлей. Анализируя результаты исследований, можно сказать, что у всех сортов общее состояние растений оценивается как хорошее.

Заключение

Таким образом, все привлечённые сорта хризантем показали высокую приспособляемость. У всех сортов отмечены все фазы вегетативного и генеративного развития.

В число наиболее декоративных сортов вошли:

- по окраске соцветия: «Мишаль», «Артлет», «Адента», «Камелия»;
- по махровости и форме соцветия: «Мишаль», «Товн», «Адента», «Камелия»;
- по размеру соцветия: «Артлет», «Деловар», «Адента», «Камелия», «Орфей», «Опал», «Венский бал», «Незнакомка»;
- по устойчивости соцветия к неблагоприятным погодным условиям: «Мишаль», «Артлет», «Товн», «Адента», «Пектораль», «Камелия», «Золотая амфора»;

- по высоте куста: «Айса», «Лелия», «Мишаль», «Танго», «Листопад», «Кореянка», «Незнакомка», «Камелия»;
- по длительности цветения: «Деловар», «Мишаль», «Пектораль», «Терракот», «Адента».

Таким образом, комплексная оценка декоративных качеств хризантем позволила выделить наиболее перспективные сорта хризантем с целью дальнейшего создания декоративных цветочных композиций различных типов в условиях аридной зоны Мангистау.

Исследования выполнены в рамках грантового проекта AP05135654 «Интродукция перспективных сортов и форм цветочно-декоративных растений в условиях Мангистау для сохранения их биоразнообразия и широкого введения в практику зеленого строительства».

Список литературы

- 1 Kentelky E. Enhance growth and flower quality of *Chrysanthemum indicum* L. with application of plant growth retardants / E. Kentelky, Z. Szekely-Varga, J. Bálint, A. Balog // Horticulturae. — 2021. — Vol. 7. — P. 532. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120532>
- 2 Van Huylbroeck J. Status of floriculture in Europe. In Protocols for In Vitro Propagation of Ornamental Plants / J. Van Huylbroeck. — Totowa, NJ, USA, 2010. — P. 365–376.
- 3 Anderson N.O. *Chrysanthemum* / N.O. Anderson // In Flower Breeding and Genetics. — Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007. — P. 389–437.
- 4 Shao Y. *Chrysanthemum indicum* L.: A Comprehensive Review of its Botany, Phytochemistry and Pharmacology / Y. Shao, Y. Sun, D. Li, Y. Chen // Am. J. Chin. Med. — 2020. — Vol. 48. — P. 871–897.
- 5 Shahrajabian M.H. A review of *Chrysanthemum*, the eastern queen in traditional Chinese medicine with healing power in modern pharmaceutical sciences / M.H. Shahrajabian, W. Sun, P. Zandi, Q. Cheng // Appl. Ecol. Environ. Res. — 2019. — Vol. 17. — P. 13355–13369.
- 6 Дьяченко Н.Г. Хризантемы корейские / Н.Г. Дьяченко. — М.: Изд. дом МСП, 2004. — 32 с.
- 7 Дворянинова К.Ф. Хризантемы (интродукция, биология и агротехника) / К.Ф. Дворянинова. — Кишинев: Штиинца, 1982. — 167 с.
- 8 Адрианов В.Н. Хризантемы / В.Н. Адрианов. — М.: Агропромиздат, 1990. — 110 с.
- 9 Недолужко А.И. Род *Chrysanthemum* L. на юге российского Дальнего Востока (интродукционные возможности, ресурсы изменчивости, селекция, сохранение генофонда: дис. ... д-ра биол. наук / А.И. Недолужко. — Владивосток, 2010. — 387 с.
- 10 Кабанцева И.Н. Хризантемы / И.Н. Кабанцева. — М.: Астрель, 2005. — 192 с.
- 11 Стецович А.С. Оценка перспективности интродукции и хозяйственно-ценных признаков *Chrysanthemum* L. на юге Черноземья / А.С. Стецович, О.А. Сорокопудова // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 5. — С. 1–7.
- 12 Тухватуллина Л.А. Результаты селекции хризантемы корейской в Республике Башкортостан / Л.А. Тухватуллина, Л.Н. Миронова // Изв. ОГАУ. — 2016. — С. 37–39.
- 13 Цеханович С.В. Особенности роста и развития сортов хризантемы корейской (*Chrysanthemum coreanum* Nakai), интродуцированных в Беларуси / С.В. Цеханович // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. — 2017. — № 2. — С. 94–99.
- 14 Рекомендации по мелиорации почв, зеленому строительству и сельскохозяйственному освоению полуострова Мангышлак. — Шевченко, 1976. — 45 с.
- 15 Методики интродукционных исследований в Казахстане. — Алма-Ата, 1987. — 136 с.
- 16 Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Методики интродукционных исследований в Казахстане. — Алма-Ата: Наука, 1987. — С. 4–11.
- 17 Карписонова Р.А. Цветоводство / Р.А. Карписонова. — М.: Кладезь-Букс, 2007. — 254 с.
- 18 Карписонова Р.А. Культурная флора травянистых декоративных многолетников средней полосы России: Атлас / Р.А. Карписонова, И.Ю. Бочкова. — М.: Фитон+, 2011. — 432 с.
- 19 Былов В.Н. Основы сортоизучения и сортооценки декоративных растений при интродукции / В.Н. Былов // Бюлл. Гл. бот. сада. — 1971. — Вып. 81. — С. 69–77.
- 20 Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. — М.: Наука, 1990. — 296 с.
- 21 Каталог растений Мангышлакского экспериментального ботанического сада / под ред. О.Н. Косаревой. — Актау, 1994. — 149 с.
- 22 Каталог растений Мангышлакского экспериментального ботанического сада / под ред. А.А. Иманбаевой. — Актау, 2009. — 136 с.
- 23 Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.

Н.И. Дуйсенова, Ш. Гани

Маңғыстау жағдайында *Chrysanthemum L.* сортының жерсіндіру нәтижелері

Мақалада Маңғышлақ эксперименттік ботаникалық бағының коллекциясындағы кәріс хризантемасының сорттарын интродукциялық зерттеу нәтижелері ұсынылған. 2018–2020 жылдары хризантеманың 26 сортына жүргізілген фенологиялық бақылаулар нәтижесінде интродуценттер ұзақ мерзімді өсімдіктер екендігі анықталды. Фенологиялық кезеңдерінің ұзақтығы көбінесе сорттың биологиялық сипаттамаларына және жылдың метеорологиялық жағдайларына байланысты. Үш жылдық бақылау кезеңінде Маңғыстаудың аридті жағдайында гүлденуі бойынша хризантема сорттарының 4 тобы анықталды: ерте, орташа, орташа кеш, кеш сорттар. Хризантема сорттарының гүлденуінің жалпы ұзақтығы орта есеппен 20-дан 45 күнге дейін. Ерте сорттардың гүлденуі шамамен 25–28 күнге, орташа және орташа кеш сорттар — 35-тен 45-ке дейін, кеш сорттар шамамен 25 күнге дейін созылады. Хризантема сорттарының сәндік және биологиялық қасиеттеріне баға берілді. Жүргізілген кешенді бағалау нәтижесінде хризантеманың неғұрлым перспективалы сорттары анықталды, олар Маңғыстаудың аридті аймағы жағдайында әртүрлі үлгідегі сәндік гүл композицияларын жасауға, сол арқылы сәндік көп жылдық өсімдіктердің ассортиментін жаңа сорттармен толықтыруға мүмкіндік береді.

Клт сөздер: хризантема, сорттар, интродукция, фенология, бағалау, Маңғыстау.

N.I. Duisenova, Sh. Gani

Results of introduction of *Chrysanthemum L.* variety under Mangistau conditions

The article presents the results of an introductory study of Korean chrysanthemum varieties in the collection of the Mangyshlak Experimental Botanical Garden. As a result of phenological observations of 26 varieties of chrysanthemum in 2018–2020, it was revealed that chrysanthemum varieties are long-growing. The duration of phenological phases is more dependent on the biological characteristics of the variety and on the meteorological factors of the year of study. During the three-year period of observations on the flowering dates in the arid conditions of Mangistau, 4 groups of chrysanthemum varieties were identified: early, middle, medium-late, and late varieties. The total flowering duration of chrysanthemum varieties was on average from 20 to 45 days. Flowering of early varieties lasts about 25–28 days, medium and medium-late — from 35 to 45, late — about 25 days. Also, this study provides an assessment of the decorative and biological properties of chrysanthemum varieties. Through the comprehensive assessment, the most promising varieties of chrysanthemum were identified, which make it possible to create decorative floral compositions of various types in the conditions of the arid zone of Mangistau, and thereby replenish the assortment of decorative perennial plants with new varieties.

Keywords: chrysanthemum, varieties, introduction, phenology, evaluation, Mangistau.

References

- 1 Kentelky, E., Szekely-Varga, Z., Bálint, J., & Balog, A. (2021). Enhance growth and flower quality of *Chrysanthemum indicum* L. with application of plant growth retardants. *Horticulturae*, 7; 532. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120532>
- 2 Van Huylbroeck, J. (2010). *Status of floriculture in Europe. In Protocols for In Vitro Propagation of Ornamental Plants*; Humana Press: Totowa, NJ, USA.
- 3 Anderson, N.O. (2007). *Chrysanthemum. In Flower Breeding and Genetics*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 389–437.
- 4 Shao, Y., Sun, Y., Li, D., & Chen, Y. (2020). *Chrysanthemum indicum* L.: A Comprehensive Review of its Botany, Phytochemistry and Pharmacology. *Am. J. Chin. Med.*, 48; 871–897.
- 5 Shahrajabian, M.H., Sun, W., Zandi, P., & Cheng, Q. (2019). A review of *Chrysanthemum*, the eastern queen in traditional Chinese medicine with healing power in modern pharmaceutical sciences. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 17; 13355–13369.
- 6 Diachenko, N.G. (2004). *Khrizantemy koreiskie [Korean chrysanthemums]*. Moscow: Publishing house MSP [in Russian].
- 7 Dvorianinova, K.F. (1982). *Khrizantemy (introduktsiia, biologii i agrotehnika) [Chrysanthemums (introduction, biology and agricultural engineering)]*. Kishinev: Shtiintsa [in Russian].
- 8 Adrianov, V.N. (1990). *Khrizantemy [Chrysanthemums]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].

- 9 Nedoluzhko, A.I. (2010). *Rod Chrysanthemum L. na yuge rossiiskogo Dalnego Vostoka (introduktsionnye vozmozhnosti, resursy izmenchivosti, selektsiia, sokhranenie genofonda)* [The genus *Chrysanthemum* L. in the south of the Russian Far East (introduction opportunities, variability resources, breeding, preservation of the gene pool)]. Doctor's thesis. Vladivostok [in Russian].
- 10 Kabantseva, I.N. (2005). *Khrizantemy* [Chrysanthemums]. Moscow: Astrel [in Russian].
- 11 Stetsovich, A.S., & Sorokopudova, O.A. (2013). Otsenka perspektivnosti introduktsii i khoziaistvenno-tsennykh priznakov *Chrysanthemum* L. na yuge Chernozemia [Evaluation of the prospects of introduction and economically valuable signs of *Chrysanthemum* L. in the south of the Chernozem region]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniia — Modern problems of science and education*, 5; 1–7 [in Russian].
- 12 Tukhvatullina, L.A., & Mironova, L.N. (2016). Rezultaty selektsii khrizantemy koreiskoi v Respublike Bashkortostan [Results of Korean chrysanthemum breeding in the Republic of Bashkortostan]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Proceedings of Orenburg State Agrarian University*, 37–39 [in Russian].
- 13 Tsekhanovich, S.V. (2017). Osobennosti rosta i razvitiia sortov khrizantemy koreiskoi (*Chrysanthemum coreanum* Nakai), introdutsirovannykh v Belarusi [Features of growth and development of varieties of Korean chrysanthemum (*Chrysanthemum coreanum* Nakai) introduced in Belarus]. *Vesti Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seryia biialagichnykh navuk — Bulletin of National academy of science of Belarus, Biology series*, 2; 94–99 [in Russian].
- 14 (1976). *Rekomendatsii po melioratsii pochv, zelenomu stroitelstvu i selskokhoziaistvennomu osvoeniiu poluostrova Mangyshlak* [Recommendations on soil reclamation, green construction and agricultural development of the Mangyshlak Peninsula]. Shevchenko [in Russian].
- 15 (1987). *Metodiki introduktsionnykh issledovaniy v Kazakhstane* [Methodology of introduction study in Kazakhstan]. Alma-Ata [in Russian].
- 16 (1987). Metodika fenologicheskikh nabludenii v botanicheskikh sadakh SSSR [Methods of phenological observations in the botanical gardens of the USSR]. *Metodiki introduktsionnykh issledovaniy v Kazakhstane — Methodology of introduction study in Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka, 4–11 [in Russian].
- 17 Karpisonova, R.A. (2007). *Tsvetovodstvo* [Floriculture]. Moscow: Kladez-Buks [in Russian].
- 18 Karpisonova, R.A., & Bochkova, I.Yu. (2011). *Kulturnaia flora travianistykh dekorativnykh mnogoletnikov srednei polosy Rossii: Atlas* [Cultural flora of herbaceous ornamental perennials of Central Russia: Atlas]. Moscow: Fiton+ [in Russian].
- 19 Bylov, V.N. (1971). Osnovy sortoizucheniia i sortootsenki dekorativnykh rastenii pri introduktsii [Fundamentals of variety study and variety evaluation of ornamental plants during introduction]. *Biulletin glavnogo botanicheskogo sada — Bulletin of Main Botanical Garden*, 81; 69–77 [in Russian].
- 20 Zaitsev, G.N. (1990). *Matematika v eksperimentalnoi botanike* [Mathematics in experimental botany]. Moscow: Nauka [in Russian].
- 21 Kosareva, O.N. (Ed.). (1994). *Katalog rastenii Mangyshlaskogo eksperimentalnogo botanicheskogo sada* [Catalog of plants of the Mangyshlak Experimental Botanical Garden]. Aktau [in Russian].
- 22 Imanbayeva, A.A. (Ed.). (2009). *Katalog rastenii Mangyshlaskogo eksperimentalnogo botanicheskogo sada* [Catalog of plants of the Mangyshlak Experimental Botanical Garden]. Aktau [in Russian].
- 23 Lakin, G.F. (1990). *Biometriia* [Biometrics]. Moscow: Vysshiaia shkola [in Russian].

С.Б. Жапарова^{1*}, З.Е. Баязитова¹, А.С. Курманбаева¹,
А.А. Какабаев¹, Ж.Б. Бекпергенова²

¹Кокшетауский университет имени Ш.Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан;

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: zhaparova77@mail.ru

Термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов

В мезофильных условиях анаэробное сбраживание является наиболее распространенным в мире, но термофильное сбраживание имеет несколько важных преимуществ из-за скорости роста микроорганизмов и реакций, которые они производят, а также деградации глубокого органического вещества из-за увеличения растворимости органических соединений. Сброженную массу, подготовленную в мезофильных условиях, нельзя использовать в качестве биоудобрения, так как могут остаться остатки патогенных организмов (вирусов, бактерий, яиц гельминтов), а повышение температуры позволяет их нейтрализовать. Эффективный инокулянт был выбран для бескислородной ферментации пищевых отходов и избыточного активного ила. Установлено оптимальное соотношение инокулята и субстрата для начала процесса бескислородной ферментации. Эксперименты с колбами и лабораторными биогазовыми реакторами показали, что ферментация пищевых отходов ОКВ значительно увеличивает скорость и расход биогаза. Оптимальное соотношение ОКВ и пищевых отходов в смеси коферментов составляет 50/50 в зависимости от общего содержания органических веществ в смеси. Максимальная скорость метаногенеза наблюдалась в смесях И/С 70/30 и И/С 55/45 (после 18 сут.) и 156 мл CH₄ и 178 мл CH₄ соответственно. Это показывает стабильность анаэробного процесса. Показано, что после предварительной обработки и активации полигона ТБО органическая часть твердых бытовых отходов, пищевых отходов и сточных вод может быть использована для запуска процесса анаэробного сбраживания в анаэробных реакторах.

Ключевые слова: пищевые отходы, термофильное брожение, биологический газ, утилизация отходов.

Введение

В настоящее время очень распространены бытовые пищевые отходы. Это большая расточительность, потому что в некоторых частях мира есть страны, где люди испытывают голод. Поэтому реализация перечисленных видов отходов была бы важным шагом перед человечеством. Одним из способов решения этой проблемы является термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов. Отметим, что средний комплекс по переработке пищевых отходов позволяет получать две тысячи кубометров биогаза в сутки. В среднем на одного человека приходится 100 грамм остатков пищи. Это очень масштабная проблема. Ведь на приготовление пищи уходит много энергии и воды. На Земле такие ресурсы истощаются [1].

В этом году Глава государства К.-Ж. Токаев в своем Послании народу обратил внимание на экологическую ситуацию: «Я хочу остановиться на еще одном важном вопросе. Мир обратился к экологической очистке промышленности и экономики. Сейчас это не слова, а конкретные решения, такие как налоги, пошлины и меры технического регулирования. Мы не можем остаться за его пределами. Такие решения напрямую влияют на нашу страну через экспорт, инвестиции и трансферт технологий. По сути, это вопрос устойчивого развития Казахстана. Поэтому я ставлю задачу к 2060 году избавиться от углерода» [2]. На самом деле даже огромное количество различных бытовых отходов, не говоря уже об отходах производства, из года в год загрязняет воздух.

Всестороннее изучение проблем термофильного сбраживания бытовых пищевых отходов еще не привлекло внимание казахстанской науки. Поэтому важность и актуальность изучения нашей темы очевидны. Также в связи с этим можно констатировать, что проблема данного исследования в том, что в нашей стране нет производств по переработке отходов. Например, термофильное сбраживание и термическая сушка пищевых отходов в барабанных вакуум-фильтрах существуют только в России и Китае, не говоря уже о европейских странах. В частности, только лишь на Курьяновской станции аэрации в Москве [3].

Термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов одними из первых стали использовать чешские ученые. Множественные исследования показали, что разнообразные поверхностно-активные

вещества (ПАВ) различно могут влиять на процесс мезофильного брожения осадка [4–7]. Присутствие алкилбензолсульфонатов в осадке 10 мг/л с прямой или разветвленной алкильной цепью значительно замедляет процесс брожения, а концентрация алкилсульфатов отрицательно влияет на этот процесс.

Влияние осадков городских сточных вод на процессы мезофильного и термофильного брожения глубоко изучено исследователями Российской Академии коммунального хозяйства и Научно-исследовательского отдела треста «Мосочиствод» [8]. Д. Штраух установил, что при термофильной ферментации патогенная микрофлора осадка незначительно уменьшается. Некоторые патогены также сохраняются во время термофильного брожения [9].

Термофильное сбраживание — технология переработки, обеспечивающая быстрое разложение органических веществ. Многочисленные исследования показали, что разнообразные поверхностно-активные вещества (ПАВ) по-разному влияют на процесс мезофильного брожения осадка. Термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов позволяет добиться значительного уровня дезинфекции как аэробных, так и анаэробных видов. Согласно современным теориям, аэробное брожение является наиболее подходящим процессом. Полная дегельментизация происходит при термофильной ферментации, а при мезофильной — только 50–80 % яиц гельминтов. В результате брожения улучшается структура осадка, который превращается в однородную и не распадающуюся массу. С санитарной точки зрения достигается безопасность и хорошее ее использование. При термофильном сбраживании обеспечивается полное уничтожение осадка [10–14].

Материалы и методы исследования

Основная цель этого эксперимента состояла в том, чтобы определить лучший (эффективный) инокулят для инициирования процесса бескислородного брожения пищевых отходов с менее активным осадком. Так как выбор активного инокулята самый важный этап при подготовке к запуску бескислородного биореактора. Правильно подобранный инокулят увеличивает нагрузку на реактор, снижает влажность обрабатываемого субстрата, сокращает время выдержки и снижает начальное отношение к субстрату без дестабилизации процесса [15, 16].

Выбор оптимального инокулята для запуска анаэробного коферментного процесса избыточных пищевых отходов изучался при температуре 50 °С в стеклянных объемом 500 мл при низкой влажности.

В качестве инокулята использовали: уплотненный сброженный осадок, суспензии, приготовленные из грунта полигона ТБО. Источником уплотненного сброженного осадка является водоочистная станция (Кокшетау), где первичная и вторичная смесь ОСВ обрабатываются в соотношении 1:1.

Путем разведения предварительно измельченной почвы полигона в холодной кипяченной дистиллированной воде (1:2 по массе) были получены образцы суспензии (твердого грунта), приготовленные из почвы бескислородной зоны полигона ТБО. Полученную суспензию активировали в бескислородных условиях при температуре 50 °С с добавлением кристаллической древесины (4,5 г/л) и мясо-пептонного бульона (90 мл/л). Степень активации микробного сообщества оценивалась по увеличению содержания метана в газовой фазе флаконов.

В качестве субстрата использовали смесь пищевых отходов и избыточного активного ила в соотношении 80/20 % по ОВ.

Содержание инокулята в исходной смеси сбраживаемой массы составляло 10–20 % от ОВ. Инокуляты ранее активировали инкубацией с 3 г/л ацетата натрия при 50 °С. Изначальная влажность составляла 92–93 %. Все образцы были в трех повторностях. В таблице 1 представлена схема опыта.

Т а б л и ц а 1

Схема опыта по бескислородной ко-ферментации пищевых отходов и осадка канализационных вод

Состав смеси	Субстраты		Инокуляты		Общий объем смеси, мл
	ПО, г	активный ил, мл	грунт ТБО, мл	упл. ил, мл	
Субстрат + буфер (контроль)	40	150	–	–	240
Субстрат — грунт ТБО	40	150	50	–	
Субстрат + упл. ил	40	150	–	50	

Опыты проводились в термофильных условиях ($50 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) в колбах объемом 0,5 л., объем ферментированной смеси составлял 0,1 л, для воссоздания бескислородных условий колбы продували азотом и закрывали резиновыми пробками и алюминиевыми крышками.

С целью выявления лучшего соотношения инокулята к субстрату (И/С) для воссоздания процесса сбраживания уплотненного ОКВ и был проведен опыт. Для достижения данной цели нами были изучены смеси со следующими коэффициентами (согласно ОВ): 10/90, 25/75, 40/60, 55/45, 70/30 и 100/0 (контроль) (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

Первоначальные характеристики сбраживаемых смесей в опытах

Параметр	Эксперимент				
	И/С 25/75	И/С 40/60	И/С 55/45	И/С 70/30	И/С 100/0
Сухое вещество (СВ), мг/г	81,1 ± 0,2				
Органическое вещество (ОВ), мг/г	55,4	52,3	48,6	47,6	43,5
Соотношение И/С, %ОВ/%ОВ	25/75	40/60	55/45	70/30	100/0
рН	7,1 ± 0,05				
Концентрация ЛЖК, г/л в экв. ацетата	0,95	0,92	1,05	0,85	0,63
Общий аммонийный азот, мг N-NH ₄ /л	436	382	365	432	463

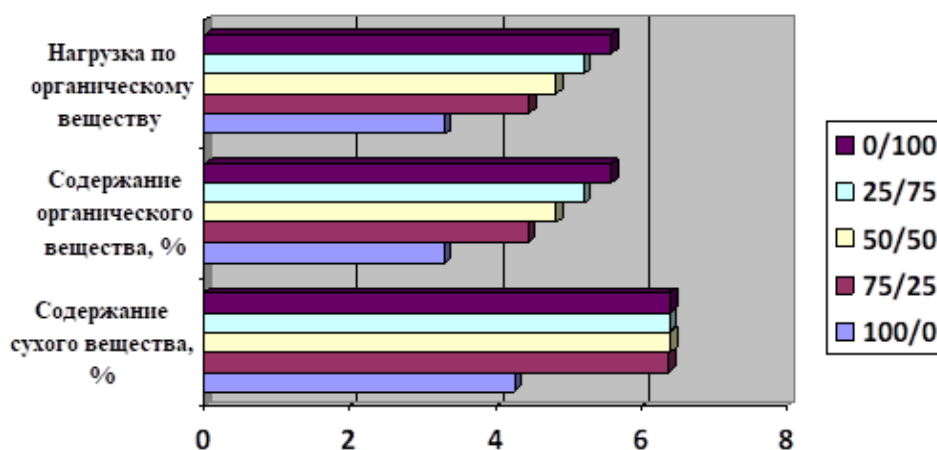


Рисунок 1. Исходные данные проведения опыта



Рисунок 2. Биореактор БУГ-Р

Содержание сухого вещества определяли после высушивания исследуемых образцов при температуре $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Остаток золы определяли после обжига сухого образца в небольшой муфельной печи при температуре $655 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Измерение рН проводили с помощью рН-метра (Metrohm 827 lab). Учитывая избыточное давление и температуру при инкубации, а также увеличение концентрации в газовой фазе метана вычисляли скорость метаногенеза.

Все эксперименты проводили в термофильных условиях ($50 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) в биореакторе БУГ-Р (рис. 2). Биореактор — это расположенная вертикально, цилиндрическая емкость, внутри которой расположена мешалка. В нижней части биореактора находится водяная рубашка — полость, заполненная водой, через которую происходит подогрев емкости с субстратом. Нагрев воды осуществляется одним ТЭНом (5 кВт) в автоматическом режиме до температуры $52\text{--}53 \text{ }^\circ\text{C}$.

В верхней части биореактора расположен люк, в котором имеется вентиль для отвода получаемого газа. Люк закрыт герметично. На боковой торцевой стороне имеется

технологическое герметично закрытое отверстие, предназначенное для полного слива субстрата и для очистки и промывки внутренней емкости биореактора. Внутри биореактора расположен вертикально вал с лопастями для перемешивания субстрата и разрушения поверхностной пленки, образующейся при брожении. Ручка вала находится на верхней части емкости. В верхней части емкости с боковой стороны расположено отверстие для загрузки субстрата. Для заполнения воды в рубашку установлен заливной патрубков, а для ее слива предусмотрен вентиль. Технические характеристики биореактора представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Технические характеристики биореактора БУГ-Р

Объем загрузки субстрата	0,5 м ³
Количество получаемого удобрения в сутки	0,05 м ³
Температурный режим	52–53 °С
Потребляемая мощность	До 2 кВт·ч в сутки

Каждый из опытов, за исключением 100/0 (только ОКВ), исследовали при различной нагрузке: низкой (3,3–3,7 кг ОВ/м³ сут), средней (4,4–5,5 кг ОВ/м³ сут) и высокой (5,9–7,4 кг ОВ/м³ сут) (рис. 2), все опыты проводились в трех повторностях. Время хранения — 10 дней.

Микробиологические методы. Для получения накопительных и чистых культур метаногенных архей и синтрофных бактерий использовали жидкую модифицированную среду Пфеннига. Основой для среды Пфеннига являлся минеральный фон, состоящий из концентрированного раствора 1 (10 мл/л) и концентрированного раствора 2 (10 мл/л). В состав концентрированного раствора 1 входили следующие компоненты: NH₄Cl — 33 г/л; MgCl₂·2H₂O (или MgCl₂·6H₂O) — 33 (50) г/л; CaCl₂·6H₂O — 33 г/л; KCl — 33 г/л. В состав концентрированного раствора 2 входил KН₂РO₄ — 33 г/л. К минеральному фону добавляли раствор микроэлементов по Липперту (2 мл/л) и раствор витаминов по Волину (биотин, фолиевая кислота, В₆, В₁, В₂, РР, В₃, В₅) (2 мл/л). В качестве дополнительного источника необходимых для анаэробных микроорганизмов факторов роста вносили дрожжевой экстракт (0,2–1,0 г/л).

Из полученных синтрофных консорциумов выделяли чистые культуры. Для этого использовали комплекс микробиологических методов: посев на различные субстраты, метод серийных разведений, высев на твердую агаризованную среду для получения изолированных колоний, высев на среды со специфическими ингибиторами роста, культивирование синтрофных бактерий с фоном метаногенов.

Изучение состава и численности клеток метаногенных архей и синтрофных бактерий при росте на различных субстратах, а также оценку чистоты выделенных культур проводили с помощью микроскопа AxioLab.A1 с фазово-контрастным устройством. Микроскопию проводили с масляной иммерсией. Морфологию флоккул, образующихся в результате обработки полиакриламидным флокулянтном, изучали с использованием светового микроскопа Bresser Researcher.

Электронная микроскопия. Для изучения структуры клеток использовали трансмиссионный электронный микроскоп JEOL 100С XII.

Результаты

Из двух главных этапов: ацидогенной — гидролиз биополимеров и сбраживание мономеров до ЛЖК, и метаногенной — синтрофическое разложение ЛЖК и синтез метана состоял процесс сбраживания пищевых отходов и избыточного активного ила.

Кислотная фаза. Исходная нагрузка (70,2±1,4 г ОВ/л), низкая влажность и низкое соотношение инокулят / субстрат (14±5 % / 83±5 %) привели к возрастанию ЛЖК (9,7–15,0 г/л) (табл. 4) и снижение рН до 5,4–6,0 во всех опытных смесях на первом этапе эксперимента, независимо от применяемого инокулята, метан в этом случае не образовывался.

Основная трудность сбраживания ПО — это накопление среднего ЛЖК, что приводит к снижению рН. Снижение рН до 5,4–6,0 подавляет активность метаногенных архей, так как оптимальное значение для них является рН 6,5–7,2. При разложении ОВ из сбраживаемой смеси образовывались большие количества ацетата (73,3–118,5 мм) и бутирата (58,6–72,5 мм). Как известно, сосредоточение 83 мМ (5,0 г/л) и бутирата 34 мМ (3,0 г/л) отрицательно влияет на активность метаногенов. Концентрация пропионата не превышала 4,0–15,6 мМ. Однако есть некоторые свидетельства того, что пропионат может влиять на ацетогенные бактерии и метаногенные археи при концентрациях 12 мм и бо-

лее при снижении рН. Термофильные микроорганизмы очень чувствительны к изменению рН, поэтому окисление сброженной массы привело к полной дестабилизации ферментации, которая со временем не восстанавливается. Полное прекращение образования метана при ферментации смеси ПО и ОКВ наблюдалось в концентрациях ацетата, бутирата и пропионата выше 71,5 мм, 53,9 мм и 4,0 мм соответственно.

Таблица 4

Накопление ЛЖК во время ацидогенной фазы термофильной ферментации (50 °С) пищевых отходов с примесью избыточного активного ила

Состав смеси	Время инкубации, сут	Летучие жирные кислоты, мМ			Сумма ЛЖК, г/л
		ацетат	пропионат	бутират	
Субстрат + буфер (контроль)	0	18,6	0,5	0,2	1,2
	7	22,5	0,6	0,2	1,6
	30	73,4	30,2	35,6	9,7
Субстрат — грунт ТБО	0	15,9	0,6	0,2	1,1
	7	17,6	0,7	0,3	1,6
	30	119,5	12,6	71,5	15,0
Субстрат + упл. ил	0	15,6	0,6	0,5	1,1
	7	23,5	1,1	2,6	1,3
	30	117,6	15,6	59,6	14,5

Введение химикатов (CaCl₂, NaOH и т.д.) для увеличения буферной емкости и производительности является одним из наиболее распространенных способов преодоления нестабильности, вызванной чрезмерным накоплением ЛЖК. С помощью раствора 1 н. NaOH проводили восстановление оптимального рН. В случае постоянного окисления этот метод оказался малоэффективным и дал лишь краткосрочные результаты. Когда рН изменился на слабокислую и нейтральную зону, активность кислых бактерий, которые сопротивляются изменениям рН и скорости роста, была восстановлена. В результате их существования были созданы новые порции ЛЖК, и процесс снова был дестабилизирован.

Известно, что излишний активный ил содержит бескислородные микроорганизмы, особенно метаногенные археи. В связи с этим увеличение его содержания в субстратной смеси может способствовать увеличению плотности бескислородных микроорганизмов.

Для преодоления кислотной дестабилизации анаэробного реактора рекомендуется прекратить загрузку нового субстрата в реактор (при непрерывной работе реактора), а также частично удалить сброженную смесь и ввести дополнительную порцию инокулята.

Соотношение инокулята/субстрата, выбранный для инициирования коферментного процесса ПО и ОСВ, оказался очень низким. Это привело к нестабильности процесса из-за плотности микроорганизмов, выполняющих заключительные стадии превращения метана ОВ (синтрофных бактерий и метаногенных архей). Об этом свидетельствует стабилизация процесса за счет введения дополнительной порции вакцины. Оптимальное соотношение инокулята к субстрату составляет 1:1–3:1. по массе. 38,8–47,9 % сброженной смеси в кислотной фазе распределяется по различным компонентам (ЛЖК, спирты, СО₂, Н₂).

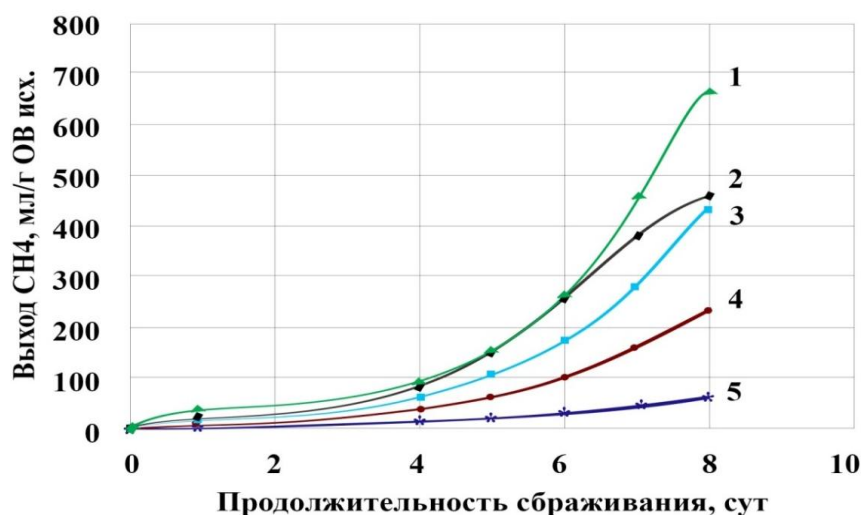
Метаногенная фаза. После стабилизации ферментации пищевых отходов была проведена новая инкубация в течение 8 дней при 50 °С. В этом случае ЛЖК, накопленный в кислотной фазе, превратился в метан (табл. 5, рис. 3, 4).

Таблица 5

Концентрация ЛЖК после увеличения дозы инокулята через 8 суток термофильного сбраживания смеси пищевых отходов и избыточного активного ила

Состав смеси	Летучие жирные кислоты, мМ			Сумма ЛЖК, г/л
	ацетат	пропионат	бутират	
Субстрат + буфер (контроль)	94,5	44,6	47,9	12,9
Субстрат — грунт ТБО	6,2	17,8	0,3	1,8
Субстрат + упл. ил	66,3	7,1	43,6	8,3

Согласно таблице 5, можно увидеть, что в пробах, в которых в качестве инокулята использовалась почвенная суспензия полигона твердых бытовых отходов, бутират и ацетат устраняются с высокой эффективностью. Это приводит к выводу, что почва полигона твердых бытовых отходов обогащена синтрофными бактериями, использующими бутират, и микроорганизмами, потребляющими ацетат. Ранее Стампис и другие выявили, что в теле полигонов твердых бытовых отходов и в их фильтрах преобладают группы бактерий, в которых обнаружены синтрофные бактерии (*Syntrophobacterales*, *Desulfuromonadales*, *Desulfovibrionales*, *Clostridia*, *Thermatogae* и др.).



1 — почва ТБО + сжатый сброженный ОКВ; 2 — почва ТБО + сжатый ферментированный ОКВ;
3 — почвенный ТБО; 4 — сжатый ферментированный ОКВ; 5 — сброженный уплотненный ОКВ

Рисунок 3. Накопление метана (мл/г ОВ исх) во время термофильной ферментации пищевых отходов (50 °С) и избыточного активного ила с использованием в качестве инокулята

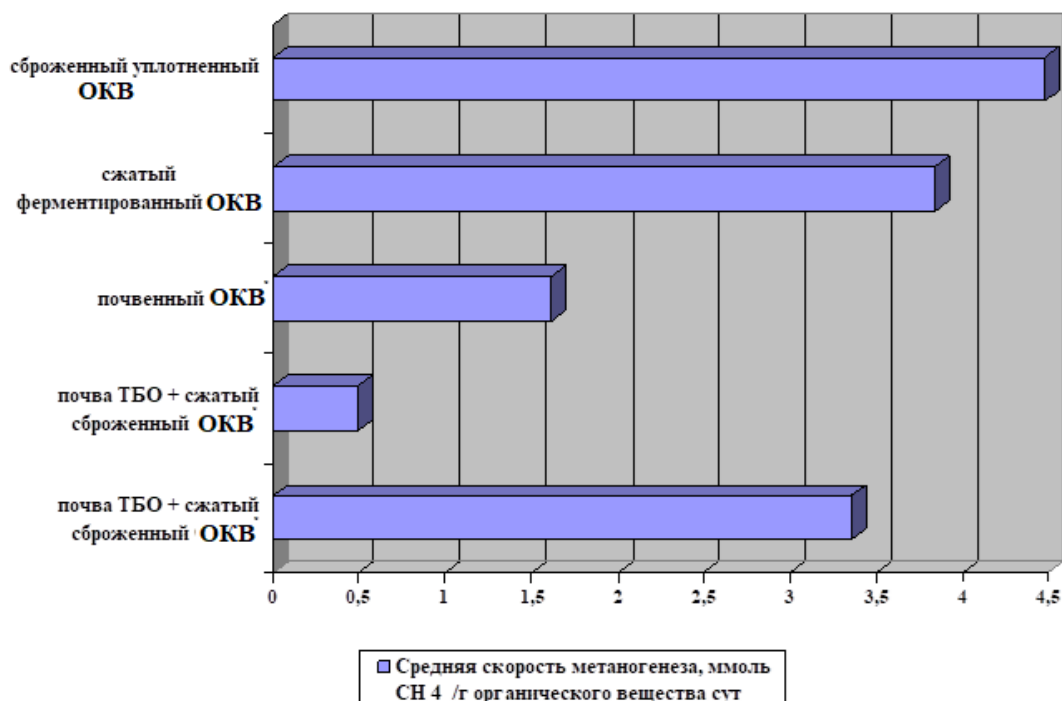


Рисунок 4. Метанолиза при термофильном сбраживании веществ пищевых отходов и избыточного активного ила

Определение оптимального соотношения инокулята к субстрату при сбраживании уплотненных ОКВ.

Первые опыты в стеклянных колбах или лабораторных биореакторах заключались в получении общей информации о законах бескислородного сбраживания в реальных системах непрерывной ферментации, для выбора оптимальных условий запуска биореакторов, и определении соответствующих и потенциальных рисков.

Эксперименты с 5 различными смесями (И/С) увеличиваются на 15 % на основе общей относительной влажности ферментированной смеси, чтобы определить оптимальное соотношение субстрата (И/С) для запуска процесса сбраживания сжатого ОСВ. Результаты эксперимента представлены в таблице 6.

Таблица 6

Характеристики кислороднесодержащего сбраживания уплотненных ОКВ в зависимости от начального соотношения инокулята и субстрата в конце опыта (после 18 дней ферментации)

Соотношение инокулята к субстрату (по ОВ)	Выход CH_4 , мл/г ОВ	Разложение ОВ, %	Концентрация ЛЖК, г/л экв. ацетата	Общий аммонийный азот, мг/л	Свободный аммонийный азот, мг/л	pH
10/90	5,2±0,2	22,6	8,31±0,1	716±20	0,1±0,3	5,2
25/75	13,8±0,2	25,0	12,6±0,2	1010±26	0,2±0,3	5,1
40/60	22,9±0,6	26,3	14,96±0,2	2053±59	21,1±0,6	6,3
55/45	178,6±4,9	36,2	1,89±0,06	1356±41	80,3±2,3	7,1
70/30	156,7±4,3	32,6	0,19±0,01	1620±40	161,4±4,3	7,3
Контроль 100/0	80,3±2,1	31,5	0,16±0,06	915±20	78,9±2,6	7,1

Образование метана прекратилось почти через 4 дня после ферментации из-за накопления концентраций ЛЖК с содержанием инокулята по ОВ 40 % и ЛЖК — 8,3–14,9 г/л. Максимальная скорость метаногенеза наблюдалась в ферментационных смесях И/С 70/30 и И/С 55/45 (через 18 дней) и 156 мл CH_4 и 178 мл CH_4 соответственно. Это показывает стабильность анаэробного процесса. В контрольных смесях максимальная скорость метаногенеза достигла только 80,3 мл ферментации CH_4 (через 18 дней) в ферментированных смесях (И/С 100/0). Общая концентрация ЛЖК во время эксперимента не превышала 1,8 г/л, а уровень pH составлял 7,2. Общая концентрация аммонийного азота (ОАА) в эксперименте составляет от 715 до 2115 мг N-NH_4 / л. Концентрация аммонийного азота (САА) не превышала 164,5 мг/л, что меньше порогового значения для высококонцентрированной анаэробной ферментации ОСВ от 620 до 800 мг/л для термофильного процесса.

В контрольных смесях и в смесях И/С 70/30 и И/С 55/45 разложение ОВ составляла около 31–36 %, а в смесях с низким И/С — 22–26 % (табл. 5). Клетки микроорганизмов достаточно стабильны и медленно разрушаются даже в термофильных условиях. Низкая эффективность метаногенеза в образцах с низким участием И/С связана с отсутствием анаэробных микроорганизмов и накоплением высоких концентраций ЛЖК и ингибированием метаногенов из-за снижения pH. Кроме того, гидролитические и ферментативные бактерии делят биополимеры на различные компоненты и поддерживают свою активность до pH 4,5, так что они не накапливаются и не содержат метан. Таким образом, чтобы определить биохимический потенциал метана и инициировать процесс анаэробной ферментации высокой плотности ОСВ в колбах в периодическом режиме, количество инокулята в смеси должно составлять не менее 55 % от общей относительной влажности. Данные, полученные при исследовании, могут быть полезны при запуске более крупных и тяжелых лабораторных реакторов.

Активные синтрофные метаногенные консорциумы, участвующие в сбраживании отходов. На начальном этапе эксперимента бактериальное сообщество во всех соотношениях инокулята и субстрата отличалось разнообразием от конечного. В начале эксперимента бактериальном сообществе выявлены микроорганизмы, родственные *Syntrophomonas wolfei subsp. saponavida*, способные разлагать бутират. Около 32 % клонированных микроорганизмов принадлежат к роду *Syntrophaceticus schinkii*, который обладает способностью ацетата к синтропному окислению. Другие хорошо известные синтрофные бактерии, окисляющие ацетат, были идентифицированы как небольшие компоненты: *Thermacetogenic Faum*, *Pseudothermotoga Profound* и *Tepidifilus Margaritifera*.

Около 35 % принадлежат *Anaerobaculum hydrogeniformans*. *A. hydrogeniformans* — типичному представителю микробных сообществ, встречающихся в термофильных биореакторах; с образованием водорода он активно сбраживает аминокислоты, сахар и дрожжевые экстракты. 14,7 % последовательности принадлежали к группе *Chloroflex* класса *Anaeroline*, которая является одной из крупнейших групп микроорганизмов, которые традиционно живут в анаэробных биореакторах и часто входят в анаэробный синоптический консорциум.

На ранних этапах эксперимента основными типами метаногеновых архей были *Methanosarsina thermophiles* (100 %-ное сходство). Микроорганизмы, ассоциированные с термофильным *Methanothrix thermophila* PT (90,8 %), были идентифицированы как подгруппа ацетокластических метаногенов. Представители семейства *Methanothrix* чувствительны к высоким концентрациям ацетата в среде. Однако, согласно полученным данным, эти метаногены выдерживают концентрации ацетата до 60 мм благодаря образованию агрегата, защитной внешней матрицы и наличию микробных гранул. Гидрогенотропные метаногены продемонстрировала *Methanothermobacter thermautotrophicus* Delta H (100 %-ное сходство). В объединении также обнаружены микроорганизмы, связанные с *Methanomassiliicoccus luminyensis* (95,7 %), облигатные водородзависимые метилотрофные метаногены.

По окончании эксперимента в смесях с И/С 70/30 и И/С 55/45 произошли изменения в структуре сообщества. Осуществляющим синоптическое окисление ацетата составляла доминирующая группа микроорганизмов, относящаяся к бактериям: *T. phaeum* — 6,8 % и *S. schinkii* — 45,9 %. Группе неклассифицированных принадлежали более 25 % *Firmicutes*, среди которых наиболее распространены синтрофные бактерии. Количество *A. hydrogeniformans* и *Chloroflexi* уменьшилось на 14,3 и 7,1 % соответственно. Также произошли значительные изменения в популяции архей: количество цепей метаногена, связанных с *Methanosarcina thermophila*, уменьшилось на 28 %, количество *M. thermautotrophicus* Delta H увеличилось на 52,1 %, *M. luminyensis* увеличилось на 20,7 %.

Заключение

В опытах в колбах и лабораторном биореакторе непрерывного действия установлено, что необходимая смесь субстратов в сброженной смеси (пищевые отходы или органическая фракция или твердые бытовые отходы и канализационные воды) основана на общем содержании органических веществ в смеси в равных частях.

При смешанном брожении ОКВ и ПО необходимое соотношение субстратов в смеси составляло около 50/50 в пересчете ОВ. При производительности 5,37 кг ОВ/ (3 м³ в сутки) среднее содержание метана составляло 0,352 м³/ (кг ОВ в сутки), а содержание метана — 65–70 %. Дальнейшее увеличение доли ПО в ОВ привело к увеличению потребления биогаза на 70 %, но снижение содержания в нем метана, а также уменьшение биогаза, влажности смеси и увеличение нагрузки увеличивают вероятность дестабилизации процесса брожения.

Для термофильного сбраживания ОСВ и ОФ-ТБО соотношение 50/50 по ОВ было оптимальным с точки зрения эффективности и стабильности процесса. Время выдержки 10 дней и скорость образования биогаза при нагрузке 7,56 кг/(м³/сут) составили 3,64 м³/(м³/сут), содержание метана в биогазе составило 69 %, а удельный выход биогаза и метана достиг 0,85 и 0,59 м³/кг ОВ соответственно.

Показано, что в результате добавления взвеси почвы полигона ТБО дает хорошую скорость образования и выхода метана и эффективное удаление ТБО, кроме того, оно свидетельствует о взаимообогащении почвы полигона ТБО метаногенными археями и синтрофными бактериями. Важно отметить, что широкая доступность почвы полигонов ТБО на территории Казахстана делает ее привлекательным источником анаэробных микроорганизмов для посева новых биореакторов.

Исследования выполнены при грантовом финансировании Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан АР09259015 «Разработка технологии эффективной переработки органических отходов методом термофильной ферментации для производства биологических удобрений».

Список литературы

- 1 Campuzano R. Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: a review / R. Campuzano, S. González-Martínez // Waste Management. — 2016. — Vol. 54. — P. 3–12.
- 2 Токаев К.-Ж. Послание народу «Единство народа и системные реформы — прочная основа процветания страны» / К.-Ж. Токаев. — 2021. — 1 сент.

- 3 Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (курс лекций): учеб. пос. / В.А. Агеев. — Самара, 2014. — 184 с.
- 4 Bolzonella D. High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: a pilot scale study / D. Bolzonella, C. Cavinato, F. Fatone, P. Pavan, F. Cecchi // *Waste Management*. — 2012. — Vol. 32, No. 6. — P. 1196–1201.
- 5 Bolzonella D. Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment process / D. Bolzonella, P. Pavan, P. Battistoni, F. Cecchi // *Process Biochemistry*. — 2005. — Vol. 40, No. 3-4. — P. 1453–1460.
- 6 Ahmadi-Pirlou M. Mesophilic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: effect of mixing ratio, total solids, and alkaline pretreatment / M. Ahmadi-Pirlou, M. Ebrahimi-Nik, M. Khojastehpour, S.H. Ebrahimi // *International Biodeterioration & Biodegradation*. — 2017. — Vol. 125. — P. 97–104.
- 7 Colleran E. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sulphate-containing wastewaters / E. Colleran, S. Pender // *Water Science and Technology*. — 2002. — Vol. 45, No. 10. — P. 231–235.
- 8 Мирошниченко М.Л. Термофильные микробные сообщества глубоководных гидротерм / М.Л. Мирошниченко // *Микробиология*. — 2004. — Т. 73. — С. 5–18.
- 9 Слободкин А.И. Образование магнетита термофильными анаэробными микроорганизмами / А.И. Слободкин, В.А. Ерошев-Шак, Н.А. Кострикина, В.Ю. Лаврушин, Л.Г. Дайняк, Г.А. Заварзин // *Докл. РАН*. — 1995. — Т. 345. — С. 694–697.
- 10 Слободкина Г.Б. Обнаружение культивируемой гипертермофильной археи рода *Sulfophobococcus* в метантенке, работающей в термофильном режиме / Г.Б. Слободкина, А.И. Слободкин, Т.П. Турова, Н.А. Кострикина, Е.А. Бонч-Осмоловская // *Микробиология*. — 2014. — Т. 73. — С. 716–720.
- 11 Rughoonundun H. Influence of carbon-to-nitrogen ratio on the mixed-acid fermentation of wastewater sludge and pretreated bagasse / H. Rughoonundun, R. Mohee, M.T. Holtzaple // *Bioresource Technology*. — 2012. — Vol. 112. — P. 91–97.
- 12 Angelidaki I. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up procedure for continuously stirred tank reactor / I. Angelidaki, X. Chen, J. Cui, P. Kaparaju, L. Ellegaard // *Water Research*. — 2006. — Vol. 40, No. 14. — P. 2621–2628.
- 13 Balk M., Weijma J., Stams A.J.M. *Thermotoga lettingae* sp. nov., a novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor / M. Balk, J. Weijma, A.J.M. Stams // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. — 2002. — Vol. 52. — P. 1361–1368.
- 14 De la Rubia M.A. Thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge: focus on the influence of the start-up. A review / M.A. De la Rubia, V. Riau, F. Raposo, R. Borja // *Critical Reviews in Biotechnology*. — 2013. — Vol. 33, No. 4. — P. 448–460.
- 15 Abdelgadir A. Characteristics, process parameters, and inner components of anaerobic bioreactors / A. Abdelgadir, X. Chen, J. Liu, X. Xie, J. Zhang, K. Zhang, H. Wang, N. Liu // *BioMed Research International*. — 2014. — eP. 841573.
- 16 Mahmoud N. Solids removal in upflow anaerobic reactors, a review / N. Mahmoud, G. Zeeman, H. Gijzen, G. Lettinga // *Bioresource Technology*. — 2003. — Vol. 90, No. 1. — P. 1–9.

С.Б. Жапарова, З.Е. Баязитова, А.С. Курманбаева,
А.А. Какабаев, Ж.Б. Бекпергенова

Тұрмыстық тамақ қалдықтарын термофильді ашыту

Мезофильді жағдайларда анаэробты ашыту дүниежүзінде ең кең тараған, бірақ термофильді ашыту микроорганизмдердің өсу қарқыны мен олар түзетін реакцияларға, сондай-ақ органикалық заттардың ерігіштігінің жоғарылауына байланысты терең органикалық заттардың ыдырауына қатысты бірнеше маңызды артықшылықтарға ие. Мезофильді жағдайда дайындалған ашытылған массаны биологиялық тынайтқыш ретінде пайдалануға болмайды, өйткені патогенді ағзалардың қалдықтары (вирустар, бактериялар, гельминттердің жұмыртқалары) қалуы мүмкін, ал температураның жоғарылауы оларды бейтараптандыруға мүмкіндік береді. Азық-түлік қалдықтары мен артық белсенді тұнбаны оттегісіз ашыту үшін тиімді инокулят таңдалды. Оттегісіз ашыту процесін бастау үшін инокулят пен субстраттың оңтайлы қатынасы анықталды. Колбалармен және зертханалық биогаз реакторларымен жүргізілген тәжірибелер ОКВ тамақ қалдықтарын ашыту биогаздың жылдамдығы мен шығынын едәуір арттыратынын көрсетті. Коферменттік қоспадағы тамақ қалдықтары мен ОКВ оңтайлы қатынасы қоспадағы органикалық заттардың жалпы құрамына байланысты 50/50 құрайды. Метаногенездің максималды жылдамдығы И/С 70/30 және И/С 55/45 (18 күннен кейін) және сәйкесінше 156 мл CH_4 және 178 мл CH_4 қоспаларында байқалды. ҚТҚ полигонын алдын-ала өңдеуден және активтендіруден кейін анаэробты реакторларда анаэробты ашыту процесін бастау үшін қатты тұрмыстық қалдықтардың, тамақ қалдықтарының және ағынды сулардың органикалық бөлігін пайдалануға болатындығы көрсетілген.

Кілт сөздер: тамақ қалдықтары, термофильді ашыту, биологиялық газ, қалдықты жою.

S.B. Zhaparova, Z.E. Bayazitova, A.S. Kurmanbayeva,
A.A. Kakabayev, Zh.B. Bekpergenova

Thermophilic fermentation of household food waste

In mesophilic conditions, anaerobic digestion is the most common in the world. However, thermophilic fermentation has several advantages due to the growth rate of microorganisms and the reactions they produce, as well as the degradation of deep organic matter due to an increase in the solubility of organic compounds. Increasing the temperature of the process makes it possible to neutralize the remnants of pathogenic organisms (viruses, bacteria, helminth eggs), which are necessary for the further use of fermented biomass as a biofertilizer. An effective inoculum is selected for the process of anaerobic co-fermentation of food waste and excess activated sludge. The optimal ratio of inoculate and substrate is determined to start the process of anaerobic digestion. Experiments with flasks and laboratory biogas reactors demonstrate that fermentation of OSV with food waste can significantly increase the rate and consumption of biogas. The optimal ratio of OSV and food waste in a mixture of coenzymes is 50/50, depending on the total content of organic substances in the mixture. The maximum rate of methanogenesis is observed in mixtures of I/C 70/30 and I/C 55/45 (after 18 days) and 156 ml of CH₄ and 178 ml of CH₄, respectively. This indicates the stability of the anaerobic process. It is shown that after pretreatment and activation of the landfill, the organic part of solid household waste, food waste and wastewater can be used to start the process of anaerobic digestion in anaerobic reactors.

Keywords: food waste, thermophilic fermentation, biological gas, waste disposal.

References

- 1 Campuzano, R., & González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: a review. *Waste Management*, 54; 3–12.
- 2 Tokaev, K.-Zh. (2021). *Poslanie narodu «Edinstvo naroda i sistemnye reformy — prochnaia osnova protsvetaniia strany» [Message to the people “Unity of the people and system reforms are a solid foundation for the nation's prosperity”]* [in Russian].
- 3 Ageev, V.A. (2014). *Netraditsionnye i vozobnovliaemye istochniki energii (kurs lektsii): uchebnoe posobie [Unconventional and renewable energy sources (course of lectures): textbook]*. Saransk [in Russian].
- 4 Bolzonella, D., Cavinato, C., Fatone, F., Pavan, P., & Cecchi, F. (2012). High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: a pilot scale study. *Waste Management*, 32 (6); 1196–1201.
- 5 Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni, P., & Cecchi, F. (2005). Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment process. *Process Biochemistry*, 40 (3–4); 1453–1460.
- 6 Ahmadi-Pirlou, M., Ebrahimi-Nik, M., Khojastehpour, M., & Ebrahimi, S.H. (2017). Mesophilic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: effect of mixing ratio, total solids, and alkaline pretreatment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 125; 97–104.
- 7 Colleran, E., & Pender, S. (2002). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sulphate-containing wastewaters. *Water Science and Technology*, 45 (10); 231–235.
- 8 Miroshnichenko, M.L. (2004). Termofilnye mikrobnye soobshchestva glubokovodnykh gidroterm [Thermophilic microbial communities of deep-sea hydrotherms]. *Mikrobiologiya — Microbiology*, 73; 5–18 [in Russian].
- 9 Slobodkin, A.I., Eroshchev-Shak, V.A., Kostrikina, N.A., Lavrushin, V.Yu., Dainiak, L.G., & Zavarzin, G.A. (1995). Obrazovanie magnetita termofilnymi anaerobnymi mikroorganizmami [Formation of magnetite by thermophilic anaerobic microorganisms]. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk — Proceedings of Academy of Sciences*, 345; 694–697 [in Russian].
- 10 Slobodkina, G.B., Slobodkin, A.I., Turova, T.P., Kostrikina, N.A., & Bonch-Osmolovskaia, E.A. (2014). Obnaruzhenie kultiviruemoi gipertermofilnoi arkhhei roda *Sulfophobococcus* v metantenke, rabotaiushchem v termofilnom rezhime [Detection of cultured hyperthermophilic archaea of the genus *Sulfophobococcus* in a methane tank operating in thermophilic mode]. *Mikrobiologiya — Microbiology*, 73; 716–720 [in Russian].
- 11 Rughoonundun, H., Mohee, R., & Holtzapfel, M.T. (2012). Influence of carbon-to-nitrogen ratio on the mixed-acid fermentation of wastewater sludge and pretreated bagasse. *Bioresource Technology*, 112; 91–97.
- 12 Angelidaki, I., Chen, X., Cui, J., Kaparaju, P., & Ellegaard, L. (2006). Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up procedure for continuously stirred tank reactor. *Water Research*, 40 (14); 2621–2628.
- 13 Balk, M., Weijma, J., & Stams, A.J.M. (2002). *Thermotoga lettingae* sp. nov., a novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52; 1361–1368.
- 14 De la Rubia, M.A., Riau, V., Raposo, F., & Borja, R. (2013). Thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge: focus on the influence of the start-up. A review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 33 (4); 448–460.

15 Abdelgadir, A., Chen, X., Liu, J., Xie, X., Zhan, g J., Zhang, K., Wang, H., & Liu, N. (2014). Characteristics, process parameters, and inner components of anaerobic bioreactors. *BioMed Research International*, eP. 841573.

16 Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., & Lettinga, G. (2003). Solids removal in upflow anaerobic reactors, a review. *Bioresource Technology*, 90 (1); 1–9.

З.А. Инелова^{1*}, А.Е. Ермаков², Д. Едилхан²

¹Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Astana IT University, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: zarina.inelova@kaznu.edu.kz

Использование и особенности культивирования мха сфагнума в биотехнологической системе для естественной фильтрации, очистки воздуха в городских условиях

В статье представлены результаты исследования обзора литературных источников по использованию мхов в качестве естественных фильтров для очистки воздуха в загрязненных локациях. Также представлена информация об особенностях культивирования мха рода Сфагнум вертикальным и горизонтальными способами в будущей конструкции биотехнологической системы и описаны необходимые условия для достижения максимального эффекта очистки воздуха с использованием данного вида растительной культуры. Результаты исследования будут использованы при разработке уникального оборудования, а именно пилотного прототипа биотехнологической системы — фильтра, использующего мох вида сфагнум, как естественный фильтр для очистки воздуха на определенной территории. Данная разработка предполагает использование автоматизированных систем управления для создания искусственных условий для растительной культуры — мха, который по естественным причинам не может существовать в городских условиях. В долгосрочной перспективе биотехнологический фильтр позволит эффективно очистить воздух, охладить окружающую среду и снизить уровень шума в тех локациях, где, из-за большой застроенности, невозможно посадить множество деревьев. В настоящее время во всём мире группы ученых выполняют исследования и опытные разработки различных вариантов решений, в том числе технологий, которые позволяют значительно улучшить городскую среду при использовании естественных фильтров. Использование мхов в качестве естественного фильтра позволит усвоить мелкую пыль, очистить воздух и создать благоприятное пространство.

Ключевые слова: мох, Сфагнум, биотехнологический фильтр, *Sphagnum*, окружающая среда, вертикальное выращивание, культивирование мха, биомониторинг.

Введение

Изменение климата является серьезной проблемой как для населения, так и для растительного мира. Ситуация усугубляется постоянным ухудшением качества воздуха, связанным с естественным и искусственным изменением климата. Загрязнение воздуха представляет собой комплексную проблему, на которую необходимо взглянуть с разных сторон. Данный вопрос особо остро стоит в крупных городах, где сконцентрировано большое скопление людей, и наблюдаются наиболее высокие риски ухудшения здоровья. Известно, что сегодня подавляющая часть населения мира проживает в крупных городах. Загрязнение воздуха затрагивает всю окружающую среду и жизнь человека, а также приводит к множеству неблагоприятных последствий для здоровья человека, экосистем и климата. Загрязнители воздуха, имеющие естественное происхождение, так и являющиеся результатом действий антропогенных источников, могут переноситься на большие расстояния и покрывать большие площади в виде влажных и сухих атмосферных осадков и грязных частиц, что представляет собой серьезный фактор риска для здоровья человека при вдыхании или попадании в пищевую цепочку. Это приводит к тому, что жители мегаполисов страдают от стресса, рака и аллергии, вызванными загрязнением воздуха [1]. Для решения проблем в крупных городах нужно использовать нестандартные подходы, где за основу будут приняты современные инженерные технологии. В данной статье приведен обзор литературных источников по использованию мхов, которые будут задействованы в качестве естественного фильтра для разрабатываемого пилотного прототипа биотехнологической системы — фильтра (далее — биофильтр) для очистки воздуха на определенной территории. Предлагаемое решение действует, как воздушный фильтр, усваивает мелкую пыль, очищает воздух и создаёт благоприятное пространство. Для разных видов мхов требуются разные условия существования и особенности культивирования, соответственно важно уделить особое внимание созданию искусственных условий и технологиям выращивания в городской среде. В долгосрочной перспективе воздушный фильтр позволит эффективно очистить воздух, охладить окружающую среду и снизить уро-

вень шума в тех локациях, где из-за большой застроенности, невозможно посадить множество деревьев.

Европейский проект City Tree, информация о котором доступна по ссылке <https://greencitysolutions.de/en/products/citytree/>, послужил примером для создания нашего биотехнологического фильтра. Фильтр сочетает в себе естественную фильтрацию воздуха через вертикальные и горизонтальные стеллажи с растительной культурой — мхом с двух сторон огражденным стеклом и с двумя экранами с двух других сторон для цифровой презентации.

Методика исследований

Нами были проанализированы научные публикации за последние двадцать лет (1996–2022 гг.) из базы РИНЦ, Scopus и Web of Science для выбора подходящих видов мхов, с возможностью дальнейшего их использования, в качестве биофильтра очистки воздуха.

Результаты и обсуждения

Выбор растительных культур — мхов для биотехнологического фильтра и описание эффективности выбранных видов культур

Биотехнологическое применение мхов различное. Мхи используют как экстракт или все растение для различных промышленных применений, а также известно их применение в качестве производственных платформ для ценных метаболитов или фармацевтических белков, биомониторинга загрязнения окружающей среды.

Одной из многочисленных групп среди высших растений является отдел Мохообразные (Bryophyta). Этот отдел по количеству видов уступает лишь цветковым растениям. Мохообразные имеют важное практическое значение в образовании фитоценоза. На сегодняшний день на территории Средней Азии и Казахстана насчитывается свыше тысячи мохообразных таксонов [2].

Прежде чем описать практическое использование необходимо описать специфику произрастания и строения данной группы высших растений. Моховидные обладают следующими характеристиками: зеленые наземные травянистые растения, основное вегетирующее тело представлено гаметофитом. Тело мохообразных растений представляет собой слоевище или стебелек с листьями. В качестве корневой системы выступают ризоиды. Размножение: бесполое и половое [3].

Особенностями мхов являются уникальность жизнедеятельности и способность эффективно существовать в неблагоприятных условиях среды, таких как затенение, дефицит влаги, отсутствие плодородного грунта. Эти качества мхов позволяют использовать их в качестве перспективной группы растений для озеленения территорий, а также для декоративного эффекта при озеленении ландшафтов. Они могут произрастать как горизонтально, так и вертикально. Мохообразные могут произрастать на каменных, керамических и древесинных поверхностях, резине и т.д. Мхам не нужен специальный уход: укос, дополнительные удобрения, постоянный полив и плодородная почва. Для их произрастания необходим только субстрат для закрепления [3]. Для голарктических видов мхов, произрастающих в суровом климате, как г. Нурсултан, отмечен активный рост побегов в весенний и осенний периоды года. В связи с коротким летом столицы Казахстана применение мхов позволит озеленить общественные территории. Мхи — основной компонент устойчивого природного биогеоценоза. Они выполняют различные почвозащитные функции. Также растительная культура — мох способна оказывать значительное положительное влияние на качество окружающей среды, в частности, через активное поглощение углеродного газа и оксида азота и пыльных частиц и увеличение баланса в сторону выделения кислорода. Для растительной культуры — мха свойственен высокий фильтрующий элемент, который позволяет максимизировать антибактериальное влияние на среду [4]. Учитывая описанное выше, на текущий момент во всем мире группы ученых выполняют исследования и опытные разработки различных вариантов решений, в том числе технологий, которые позволяют значительно улучшить городскую среду при использовании естественных фильтров. Одним из примеров является западно-европейская компания Green City Solutions, которая разработала систему из видов зеленых панелей мха, называемые CityTree (от англ. *зеленое дерево*), которая способна впитывать вредные выбросы в атмосферу и очищать воздух в определенной локации [1, 5]. Основной целью данной работы было исследовать риски для здоровья людей, подверженных влиянию одной из основных экологических проблем современности — загрязнению воздуха [6]. Загрязнённый воздух на 90 % состоит из мелкодисперсной пыли и на 10 % — из озона. Мелкодисперсная пыль или твердые частицы представляют опасность для здоровья людей [7–9].

Цветковые растения не эффективны в качестве аккумулянта твердых частиц воздуха, так как они не способны к их надежной фиксации. Различные части растений (лепестки, цветки, листья и др.) выполняют своего рода барьерную функцию, позволяя тем самым накапливаться твердым частицам воздуха только на поверхности [10]. Однако через некоторое время они способны снова попадать в атмосферу. Необходимо отметить, что физические и химические характеристики растения влияют на потенциал фильтрации мелкодисперсной пыли [11]. Помимо этого, густо произрастающие растения имеют особенность создавать барьеры для вентиляции, тем самым создавая условия для накопления мелкодисперсной пыли [12]. В то же время зеленые насаждения в центре города находятся под прямым влиянием различных загрязняющих факторов окружающей среды, таких как высокая загазованность, производственные выбросы в атмосферу, наличие избыточного количества веществ, включающих газы, органические и неорганические частицы, которые отрицательно влияют на способность растений связывать твердые частицы. Согласно исследованиям Боннского университета (Германия), мох аккумулирует лучше загрязняющие вещества. Морфология и анатомия мха отличается от цветковых растений. Отличительной чертой является отсутствие проводящих тканей, таких как ксилема и флоэма. Проводящие ткани обеспечивают растение питательными веществами и водой. Мох называют «катион-обменником» в силу того, что он поглощает необходимые вещества из воздуха. Наружную часть мхов покрывает бактериальная пленка, которая обеспечивает поглощение неорганических веществ и трансформацию их в органическое состояние [8].

В течение нескольких лет различные виды мхов использовались для подходов биомониторинга для измерения качества воздуха [5, 13–20]. Мхи особенно подходят, поскольку они поглощают элементы и питательные вещества через свою поверхность непосредственно из атмосферных осадков, отражая тем самым химический состав окружающей среды.

Мох вида *Orthotrichum lyellii* был использован для определения концентрации катионов селена, мышьяка и кадмия [21]. Проведенные исследования по изучению последствий воздействия транспортных выбросов на человека в Белграде, Сербии, показали наличие концентрации *Sb*, *Cu* и *Cr* в моховых культурах (*Sphagnum girgensohnii* и *Hypnum cupressiforme*). Наличие обнаруженных элементов является следствием выбросов транспортных средств [22].

Ж. Вукович и другие ученые исследовали пригодность мха *Sphagnum girgensohnii* для биомагнитного мониторинга в городах Белграда. Моховые мешки *S. girgensohnii* были размещены в трех разных микросредах с интенсивным движением автотранспорта. Доля ферромагнитных частиц в образцах мха была количественно определена методом остаточной намагниченности изотермической насыщенности (SIRM), а измеренные значения сравнивались с концентрацией микроэлементов в образцах мха. Результаты показали, что значения SIRM существенно различались в рассматриваемых городских микросредах, но была обнаружена высокая корреляция между значениями SIRM мхов и концентрациями катионов Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Ni и Pb. Результаты показали, что моховые мешки можно использовать для биомагнитного мониторинга тенденций пространственно-временного распределения загрязнения воздуха [23].

Л. Лази и другие ученые на городской улице Каньон в Белграде (Сербия) также исследовали распределение загрязнителей воздуха с помощью мохового мешка *Sphagnum girgensohnii*. И применялся метод «оперативной модели загрязнения улиц» для прогнозирования содержания NO_x, NO, NO₂, O₃, CO, BNZ и PM10. Результаты обоих методов, моделирования и биомониторинга, показали значительно уменьшающуюся тенденцию загрязнителей воздуха с высотой. Результаты показали, что метод мешка со мхом может быть ценным инструментом для проверки производительности модели [24].

Также свой вклад внесли Маседо-Миранда и другие ученые в изучение загрязнения воздуха с использованием мхов *Fabronia ciliaris* и *Leskea angustata*, полученных из долины Толука в Мексике. Группа использовала абсорбционный атомно-спектрометрический анализ (ААС) для определения катионов (Cr, P, Cd и Zn). Полученные результаты показали, что средние концентрации металлов во мхах находились в следующем порядке: Zn > Pb > Cr > Cd. Отмечено, что концентрации тяжелых металлов были выше у *Fabrio naciliaris*, чем у *Leskea angustata*. В результате пришли к выводу, что концентрация металлов было выше в сезон дождей, а также предположено, что источником поступления металлов является антропогенный фактор [25].

В Республике Македония исследования по мху (2005 и 2015 гг.) проводились Т.И. Стафиловым и другими. Было получено более 72 образцов мхов. Методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и атомно-абсорбционной спектроскопии определено 22 элемента (Al,

As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, V и Zn). При сравнении результатов исследований было установлено, что практически все потенциально токсичные элементы (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) увеличились в пробах мхов с 2002 по 2005 гг., но снизились в выборках с 2010 по 2015 гг. [26].

М.Л. Гоулден и П.М. Грил в своих исследованиях использовали автоматизированную мультиплексную систему газообмена для измерения чистого обмена углекислого газа на поверхности трех тенистых ковыльных и трех открытых участков сфагнового мха в условиях елового леса в течение 35 дней в конце вегетационного периода 1995 г. В результате пришли к выводу, что на фотосинтез мхом приходится от 10 до 50 % общего поглощения CO₂ всем лесом. Дыхание на поверхности мха составляло от 50 до 90 % дыхания всего леса, с уменьшением доли в теплые ночи, по-видимому, из-за непропорционального увеличения надземного дыхания [28].

В Италии и Испании *Sphagnum palustre*, произведенный в биореакторе, превосходил местный *Pseudoscleropodium purum* по поглощению и накоплению металлов [28]. Эти исследования были проведены с помощью «moss sphere», устройства для пассивного отбора загрязняющих веществ, превосходящего прежние методы изобретенного консорциумом MOSS clone, финансируемым ЕС (www.mossclone.eu) [29]. Это устройство содержит девитализированный (безжизненный) мох в пространстве полый внутренней и внешней сферы из перфорированного нейлона и пластика, обеспечивая свободный проход воздуха и однородное распределение мха. Дальнейшее улучшение распространения вегетативного сфагнома для биотехнологического использования или физиологических и клеточных вмешательств может способствовать недавно разработанный метод роста протонемы сфагнома [30].

На основании проведенного литературного обзора был выбран мох рода Сфагнум для испытания в качестве очистительного агента, так как этот род лучше поглощает ионы тяжелых металлов [18, 31]. Биомасса мха рода Сфагнум увеличивается примерно в 30 раз в течение 4 недель биореакторного культивирования клонального гаметофорного материала. Включенными параметрами процесса были механическое напряжение, плотность инокулята, соединения среды и pH [32]. Этот материал использовался для мониторинга загрязнителей атмосферы металлами в лабораторных экспериментах [33], и впервые было продемонстрировано поглощение наночастиц полистирола, что дало возможность контролировать микропластики в пресноводных средах с помощью биотехнологически полученного торфяного мха [34].

Для разработки уникальных решений с использованием мхов, и возникающие в дальнейшем вопросы культивирования мхов требуют определенные биотехнологические и флористические знания. Мохообразные — это тонкая, пластичная, фактурная и живая «плёнка», которая способна обволакивать любую форму. Кроме того, выращивание сфагнома, производство биомассы сфагнома на переувлажненных торфяниках, поможет остановить выбросы парниковых газов с осушенных торфяников, что позволяет достичь сокращение выбросов CO₂. Кроме того, выращивание сфагнома призвано обеспечить устойчивый источник биомассы торфяного мха в качестве эффективной замены торфа, который по-прежнему является на сегодняшний день самой качественной питательной средой для выращивания в горшках [35], а также, выращивание торфяного мха, поможет остановить выбросы парниковых газов, тем самым решив огромные экологические проблемы [36]. Способность мхов колонизировать широкий спектр мест обитания (от антарктической тундры до глубоких лесов и Пустыня Мохава) позволила ученым определить новые стратегии и молекулярные схемы, связанные с устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, соли, засухе и холоду [37–41].

Поскольку у мхов нет корней, а также не имеется проводящих тканей, мхи способны поглощать все необходимые для них питательные вещества, и в том числе и загрязняющие вещества из атмосферы, которые в дальнейшем накапливаются в их тканях. Большой объем тканей мха способствует накоплению и аккумуляции загрязняющих веществ: твердые частицы, тяжелых металлов и т.д. [18].

Особенности культивирования мха сфагнома

При проектировании биофильтра, на основании литературного обзора, культурой для поглощения углекислого газа был выбран мох — *Sphagnum sp.* Все моховые растения, в частности торфяные мхи (*Sphagnum sp.*), полезны для решения экологических задач, биомониторинга загрязнения окружающей среды и «земледелия» с нейтральным выбросом CO₂ на повторно заболоченных болотах для борьбы с изменением климата [42].

Согласно техническому проекту, мох будет выращиваться двумя методами — вертикально и горизонтально. Вертикальный метод выращивания предполагает фиксацию мха в прямоугольных лот-

ках глубиной 3–4 см. Фиксирование будет происходить с помощью установки двух сеток по периметру лотка. Первая сетка будет установлена для удержания субстрата, вторая для фиксирования самого растения в вертикальном положении. В качестве субстрата будет использоваться высушенный мох *Sphagnum sp.* Исследования показали, что сфагнум обеспечивает оптимальные свойства для овощных растений и является хорошей заменой других субстратов, в особенности, минеральной ваты [43–45]. Сфагнум является влаголюбивым растением, в природе произрастает в болотистых местностях [46, 47]. Кроме того, сфагнум не может активно контролировать систему водоснабжения, как сосудистые растения, из-за отсутствия корней [48]. Систематическое обеспечение влагой является обязательным условием. В вертикальном и горизонтальном методах выращивания мха увлажнение субстрата будет обеспечено с помощью автоматического капельного орошения. В вертикальной системе выращивания мха капельное орошение будет установлено в верхней части лотка. В связи с вертикальным расположением излишки воды будут стекать под влиянием силы тяжести сверху вниз в накопительную емкость. Подача воды в лоток будет настроена так, чтобы сфагнум не осушился и был погружен во влажный субстрат. Наивысшая продуктивность биомассы сфагнома достигается при стабильном уровне грунтовых вод всего на несколько сантиметров ниже поверхности торфяного мха [49]. Высота влажного субстрата будет составлять до 1 см [50].

В ходе исследования был выявлен температурный режим для сфагномов 3–22°C *in vivo* или 10–20 °C *in vitro* [51]. Днем оптимальная температура воздуха для выращивания сфагнома в закрытой системе является 22±1 °C, ночью 16±1 °C, световой период 16 часов, относительная влажность 85±15 %. Период выращивания составляет пять месяцев [50]. Влажность воздуха будет обеспечена с помощью встроенного увлажнителя в автоматическом режиме.

Сфагнум способен впитывать в себя количество воды, превышающей в 20 раз свою массу. Растение всегда стремится расти по направлению к свету, то есть вверх. Сфагнум не имеет корней или ризоидов, растет лишь верхняя часть, формируются стебли. В свою очередь нижняя часть стеблей отмирает и трансформируется в торф [52]. После отмирания значительной нижней части стеблей следует заменить культуру новым посевом.

Сфагнум обычно произрастает с сосудистыми растениями [53], растет под тенью высоких растений и их подстилкой. Большинство видов сфагномов приспособлены к слабому освещению. Их точка светонасыщения обычно находится при низкой плотности потока фотонов (ниже 400 мкмоль м⁻² с⁻¹ в лаборатории) [54]. В целях недопущения ожогов мхов от прямых солнечных лучей, между двумя слоями стекол будут монтированы ролл-шторы, которые будут регулироваться с помощью фотореле. Кроме того, к мхам вертикального выращивания будут дополнительно установлены лампы освещения для компенсации недостатка светового дня. У сфагномов, выращиваемых в горизонтальном положении, нет доступа к естественным источникам света. И поэтому они будут освещаться искусственно, специальными лампами в течение 16 часов.

Заключение

На данный момент в Казахстане отсутствуют технологии по очистке воздуха с помощью биологического метода. Предлагаемое решение по построению биотехнологической системы, где в качестве естественного фильтра будет использован мох, имеет множество положительных моментов. В дальнейшем планируется разработка и внедрение данной системы, опираясь на опыт других стран. Растительный объект — мох сфагнум, позволит эффективным образом очищать воздух в прилегающей территории. На входе и выходе в биотехнологический фильтр будут установлены датчики измерения качества воздуха, которые позволят оценивать эффективность работы фильтра и проводить аналитику. Также, через определенные промежутки времени, мох будет отправлен на исследования по измерению содержания загрязняющих веществ. На данном этапе проекта ведутся работы по разработке самого фильтра. Планируется, что установка позволит значительно улучшить качество воздуха.

В рамках исследования, построена общая концепция биотехнологической системы — фильтра для очистки воздуха с использованием оптимального и наиболее эффективного вида растительной культуры — мха сфагнома с возможностью анализа уровня загрязнения воздуха в прилегающей локации, включая оценку эффективности работы фильтра.

В результате проведенных исследований был выбран биологически природный фильтр — мох из рода Сфагнум. Выбор связан с пластичностью в применении, как биотехнологического фильтра, так и с использованием его, как источника биомониторинга.

Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК: грант № BR10965311 «Разработка интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем для городской инфраструктуры: транспорт, экология, энергетика и аналитика данных в концепции Smart City».

Список литературы

- 1 Sanger P. The City Tree: A Vertical Plant Filter for Enhanced Temperature Management / P. Sanger, V. Splittgerber // Innovation in Climate Change Adaptation. — Springer, Cham, 2016. — P. 75–85.
- 2 Маматкулов У.К. Мохообразные Средней Азии и Казахстана / У.К. Маматкулов, И.О. Байтулин, С.Г. Нестерова. — Алматы: Ин-т ботаники и фитондустрии, 1998. — 232 с.
- 3 Паршина Г.Н. Биоразнообразие растений: учеб. / Г.Н. Паршина, С.Г. Нестерова. — Алматы: Қазақ университеті, 2006. — 306 с.
- 4 Kłos A. Using moss and lichens in biomonitoring of heavy-metal contamination of forest areas in southern and north-eastern Poland / A. Kłos, Z. Ziembik, M. Rajfur, A. Dolhańczuk-Śródka, Z. Bochenek, J.W. Bjerke, P. Świsłowski // Science of the Total Environment. — 2018. — Vol. 627. — P. 438–449.
- 5 Splittgerber V. City tree: a vertical plant wall / V. Splittgerber, P. Saenger // Air Pollution XXIII. — 2015. — Vol. 295. — P. 295–304.
- 6 World Health Organization. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. — World Health Organization, 2006. — 5 p.
- 7 Krzyżanowski M. Health effects of transport-related air pollution / M. Krzyżanowski, B. Kuna-Dibbert, J. Schneider. — WHO Regional Office Europe, 2005. — P. 1–190.
- 8 Frahm J. Feinstaubreduzierung durch Moose / J. Frahm, M. Sabovljevic // Immissionsschutz-Berlin. — 2007. — Vol. 12, No. 4. — P. 152.
- 9 Tiede R. I.I. Nachhaltigkeit am Hamburger Hafen: Eine Studie über die Wirkung von Schiffsimmissionen auf die Gesundheit / R. I.I. Tiede // Thesis PhD. — Hamburg, 2015. — 120 p.
- 10 Kappis C. Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) / C. Kappis // Von Pflanzen, 2007. — P. 15–18.
- 11 Roloff A. Stadt- und Straßenbume der Zukunft—welche Arten sind geeignet / A. Roloff // Forstwiss Beitr Tharandt Beih. — 2013. — Vol. 14. — P. 173–187.
- 12 Thönnessen M. Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegrünenden Wilden Weines (*Parthenocissus tricuspidata*) / M. Thönnessen // Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. — 2006. — Vol. 18, No. 1. — P. 5–12.
- 13 Adamo P. Geochemical properties of airborne particulate matter (PM10) collected by automatic device and biomonitors in a Mediterranean urban environment / P. Adamo, S. Giordano, D. Naimo, R. Bargagli // Atmospheric environment. — 2008. — Vol. 42, No. 2. — P. 346–357.
- 14 Vasconcelos M. Atmospheric metal pollution (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) in Oporto city derived from results for low-volume aerosol samplers and for the moss *Sphagnum auriculatum* bioindicator / M. Vasconcelos, H. M.F. Tavares // Science of the total environment. — 1998. — Vol. 212, No. 1. — P. 11–20.
- 15 Giordano S. Instrumental and bio-monitoring of heavy metal and nanoparticle emissions from diesel engine exhaust in controlled environment / S. Giordano, P. Adamo, V. Spagnuolo, B.M. Vaglieco // Journal of Environmental Sciences. — 2010. — Vol. 22, No. 9. — P. 1357–1363.
- 16 Jeran Z. Lichens and mosses as biomonitors / Z. Jeran, R. Jacimovic, P.P. Mikuz // Journal de Physique IV. — 2003. — Vol. 107. — P. 675–678.
- 17 Limo J. Magnetic biomonitoring with moss bags to assess stop-and-go traffic induced particulate matter and heavy metal concentrations / J. Limo, P. Paturi, J. Makinen // Atmospheric Environment. — 2018. — Vol. 195. — P. 187–195.
- 18 Harmens H. Terrestrial mosses as biomonitors of atmospheric POPs pollution: a review / H. Harmens, L. Foan, V. Simon, G. Mills // Environmental Pollution. — 2013. — Vol. 173. — P. 245–254.
- 19 Giordano S. Accumulation of airborne trace elements in mosses, lichens and synthetic materials exposed at urban monitoring stations: towards a harmonisation of the moss-bag technique / S. Giordano, P. Adamo, V. Spagnuolo, M. Tretiach, R. Bargagli // Chemosphere. — 2013. — Vol. 90, No. 2. — P. 292–299.
- 20 Donato A. An evaluation of the performance of a green panel in improving air quality, the case study in a street canyon in Modena, Italy / A. Donato, M. Rinaldi, M. Paglione, M.G. Villani, F. Russo, C. Carbone, S. Decesari // Atmospheric Environment. — 2021. — Vol. 247. — P. 118–189.
- 21 Donovan G.H. Using an epiphytic moss to identify previously unknown sources of atmospheric cadmium pollution / G.H. Donovan, S.E. Jovan, D. Gatzliolis, I. Burstyn, Y.L. Michael, M.C. Amacher, V.J. Monleon // Science of the Total Environment. — 2016. — Vol. 559. — P. 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.182>

- 22 Vuković G. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: a street study in Belgrade, Serbia / G. Vuković, M.A. Urošević, S. Škrivanj, T. Miličević, D. Dimitrijević, M. Tomašević, A. Popović // *Science of the Total Environment*. — 2016. — Vol. 542. — P. 394–403.
- 23 Vuković G. Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (*Sphagnum girgensohnii*) / G. Vuković, M.A. Urošević, M. Tomašević, R. Samson, A. Popović // *Ecological Indicators*. — 2015. — Vol. 52. — P. 40–47.
- 24 Lazić L. Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: Integrated application of the OSPM, moss biomonitoring and spectral analysis / L. Lazić, M.A. Urošević, Z. Mijić, G. Vuković, L. Ilić // *Atmospheric Environment*. — 2016. — Vol. 141. — P. 347–360.
- 25 Macedo-Miranda G. Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study / G. Macedo-Miranda, P. Avila-Pérez, P. Gil-Vargas, G. Zarazúa, J.C. Sánchez-Meza, C. Zepeda-Gómez, S. Tejeda // *Springer Plus*. — 2016. — Vol. 5, No. 1. — P. 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2524-7>
- 26 Stafilov T. Moss biomonitoring of atmospheric deposition study of minor and trace elements in Macedonia / T. Stafilov, R. Šajn, L. Barandovski, K.B. Andonovska, S. Malinovska // *Air Quality, Atmosphere & Health*. — 2018. — Vol. 11, No. 2. — P. 137–152.
- 27 Goulden M.L. Automated measurements of CO₂ exchange at the moss surface of a black spruce forest / M.L. Goulden, P.M. Crill // *Tree Physiology*. — 1997. — Vol. 17, No. 8–9. — P. 537–542.
- 28 Capozzi F. *Sphagnum palustre* clone vs native *Pseudoscleropodium purum*: A first trial in the field to validate the future of the moss bag technique / F. Capozzi, P. Adamo, A. Di Palma, J.R. Aboal, R. Bargagli, J.A. Fernandez, S. Giordano // *Environmental Pollution*. — 2017. — Vol. 225. — P. 323–328.
- 29 Reskir R. Passive contaminant sensor device used to sense air pollutants comprising polycyclic aromatic hydrocarbons or heavy metals or their compounds, comprises axenic devitalized Moss clone / R. Reskir // *European Patent Application*. — 2016. — EP 3 076 171 A1.
- 30 Zhao W. Development of a method for protonema proliferation of peat moss (*Sphagnum squarrosum*) through regeneration analysis / W. Zhao, Z. Li, Y. Hu, M. Wang, S. Zheng, Q. Li, Y. Sun // *New Phytologist*. — 2019. — Vol. 221, No. 2. — P. 1160–1171.
- 31 González A.G. Metal adsorption on mosses: toward a universal adsorption model / A.G. González, O.S. Pokrovsky // *Journal of colloid and interface science*. — 2014. — Vol. 415. — P. 169–178.
- 32 Beike A.K. Clonal in vitro propagation of peat mosses (*Sphagnum* L.) as novel green resources for basic and applied research / A.K. Baika, V. Spagnuolo, V. Lüth, F. Steinhart, J. Ramos-Gómez, M. Krebs, R. Reski // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. — 2015. — Vol. 120, No. 3. — P. 1037–1049.
- 33 Gonzalez A.G. Metal and proton adsorption capacities of natural and cloned *Sphagnum* mosses / A.G. Gonzalez, O.S. Pokrovsky, A.K. Beike, R. Reski, A. Di Palma, P. Adamo, J.A. Fernandez // *Journal of colloid and interface science*. — 2016. — Vol. 461. — P. 326–334.
- 34 Capozzi F. Evidence on the effectiveness of mosses for biomonitoring of microplastics in fresh water environment / F. Capozzi // *Chemosphere*. — 2018. — Vol. 205. — P. 1–7.
- 35 Gaudig G. *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review / G. Gaudig, M. Krebs, A. Prager, S. Wichmann, M. Barney, S.J. Caporn, H. Joosten // *Mires and Peat*. — 2017. — Vol. 20, No. 18. — P. 1–30.
- 36 Decker E.L. Mosses in biotechnology / E.L. Decker, R. Reski // *Current opinion in biotechnology*. — 2020. — Vol. 61. — P. 21–27.
- 37 Oliver M.J. Bryophytes as experimental models for the study of environmental stress tolerance: *Tortula ruralis* and desiccation-tolerance in mosses / M.J. Oliver, J. Velten, A.J. Wood // *Plant Ecology*. — 2000. — Vol. 151, No. 1. — P. 73–84.
- 38 Barker D.H. Evidence of drought induced stress on biotic crust moss in the Mojave Desert / D.H. Barker, L.R. Stark, J.F. Zimpfer, N.D. Mclethie, S.D. Smith // *Plant, Cell & Environment*. — 2005. — Vol. 28, No. 7. — P. 939–947.
- 39 Khraiwesh B. Genome-wide expression analysis offers new insights into the origin and evolution of *Physcomitrella patens* stress response / B. Khraiwesh, E. Qudeimat, M. Thimma, A. Chaiboonchoe, K. Jijakli, A. Alzahmi, K. Salehi-Ashtiani // *Scientific reports*. — 2015. — Vol. 5, No. 1. — P. 1–15.
- 40 Waterman M.J. Photoprotection enhanced by red cell wall pigments in three East Antarctic mosses / M.J. Waterman, J. Bramley-Alves, R.E. Miller, P.A. Keller, S.A. Robinson // *Biological Research*. — 2018. — Vol. 51. — P. 211–215.
- 41 Campos M.L. Mosses: versatile plants for biotechnological applications / M.L. Campos, G.S. Prado, V.O. Dos Santos, L.C. Nascimento, S.M. Dohms, N. B. da Cunha, S.C. Dias // *Biotechnology Advances*. — 2020. — Vol. 41. — P. 107533.
- 42 Decker E.L. Mosses in biotechnology / E.L. Decker, R. Reski // *Current opinion in biotechnology*. — 2020. — Vol. 61. — P. 21–27.
- 43 Nerlich A. Soilless cultivation: dynamically changing chemical properties and physical conditions of organic substrates influence the plant phenotype of lettuce / A. Nerlich, D. Dannehl // *Frontiers in Plant Science*. — 2021. — P. 2235.
- 44 Dannehl D. Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production / D. Dannehl, J. Suhl, C. Ulrichs, U. Schmidt // *Journal of Applied Botany and Food Quality*. — 2015. — Vol. 88, No. 1. — P. 23–28.
- 45 Emmel M. Growing ornamental plants in *Sphagnum* biomass / M. Emmel // *International Symposium on Growing Media*. — 2005. — Vol. 779. — P. 173–178.
- 46 Савич-Любицкая Л.И. Флора споровых растений СССР. Т. 1. Листостебельные мхи (1). Сфагновые (торфяные) мхи / Л.И. Савич-Любицкая. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. — 255 с.

47 Боч М.С. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны / М.С. Боч, В.А. Смагин. — Л.: Гидрометеиздат, 1993. — 220 с.

48 McCarter C. P.R. Ecohydrology of Sphagnum moss hummocks: mechanisms of capitula water supply and simulated effects of evaporation / C. P.R. McCarter, J.S. Price // Ecohydrology. — 2014. — Vol. 7, No. 1. — P. 33–44.

49 Gaudig G. Sphagnum farming in Germany—a review of progress / G. Gaudig, F. Fengler, M. Krebs, A. Prager, J. Schulz, S. Wichmann, H. Joosten // Mires and Peat. — 2014. — Vol. 13, No. 8. — P. 1–11.

50 Stenøien H.. Phenotypic variation in the *Sphagnum recurvum* complex: a cultivation experiment / H. Stenøien, S. Bakken, K.I. Flatberg // Journal of Bryology. — 1997. — Vol. 19, No. 4. — P. 731–750.

51 Антропова Т.А. Изучение температурной адаптации на клетки некоторых видов мхов / Т.А. Антропова // Цитология. — 1974. — № 16. — С. 38–42.

52 Шувалов В.Н. Все секреты выращивания растений: Что такое мох Сфагнум: как использовать это растение / В.Н. Шувалов // Электронный ресурс. Режим доступа: <https://klumba.guru/dikorastuschie-rasteniya/chto-takoe-moh-sfagnum-kak-ispolzovat-eto-rastenie.html>

53 Malmer N. Interferences between Sphagnum and vascular plants: effects on plant community structure and peat formation / N. Malmer, C. Albinsson, B.M. Svensson, B. Wallén // Oikos. — 2003. — Vol. 100, No. 3. — P. 469–482.

54 Harley P.C. Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra Sphagnum mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska / P.C. Harley, J.D. Tenhunen, K.J. Murray, J. Beyers // Oecologia. — 1989. — Vol. 79, No. 2. — P. 251–259.

З.А. Инелова, А.Е. Ермеков, Д. Едилхан

Қала жағдайында ауаны табиғи фильтрациялау және тазарту үшін биотехнологиялық жүйеде сфагнум мүгін қолдану, өсіру ерекшеліктері

Мақалада мүктерді ластанған жерлерде ауаны тазарту үшін табиғи фильтр ретінде пайдалану туралы әдебиеттік шолуды зерттеу нәтижелері берілген. Сондай-ақ, болашақ биотехнологиялық жүйені жобалауда Сфагнум тұқымдас мүктерді тік және көлденең әдістермен жасанды жағдайда өсіру ерекшеліктері туралы ақпарат берілген және өсімдік өсіндісінің осы түрін пайдалана отырып, ауаны тазартудың максималды әсеріне жету үшін қажетті жағдайлар сипатталған. Зерттеу нәтижелері бірегей жабдықты, атап айтқанда биотехнологиялық жүйенің тәжірибелік түпүлгісін, яғни белгілі бір аумақта ауаны тазартуға арналған табиғи фильтр ретінде Сфагнум мүгін пайдаланатын сүзгіні әзірлеуде қолданылатын болады. Бұл әзірleme өсімдік өсіндісіне жасанды жағдай жасау үшін автоматтандырылған басқару жүйелерін пайдалануды қамтиды, яғни мүктің табиғи себептермен қалалық ортада өсуі мүмкін емес. Ұзақмерзімді перспективада биотехнологиялық фильтр ауаны тиімді тазартады, қоршаған органы салқындатады және үлкен ғимараттардың арқасында көп ағаш отырғызу мүмкін емес жерлерде шуды азайтады. Қазіргі уақытта бүкіләлем бойынша ғалымдар тобы әртүрлі шешімдерді, соның ішінде табиғи фильтрлерді пайдалана отырып, қалалық органы айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік беретін технологияларды зерттеу және эксперименталды әзірлеу жұмыстарын жүргізуде. Мүктерді табиғи сүзгі ретінде пайдалану ұсақ шаңды сіңіруге, ауаны тазартуға және қолайлы кеңістік жасауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: мүк, Сфагнум, биотехнологиялық фильтр, *Sphagnum*, қоршаған орта, вертикальді өсіру, мүкті жасанды жағдайда өсіру, биомониторинг.

Z.A. Inelova, A.Y. Yermekov, D. Yedilkhan

Usage and features of cultivation of sphagnum moss in a biotechnological system for natural filtration, purification of air in urban conditions

This article presents the results of a study of a literature review on the use of mosses as natural filters for air purification in polluted locations; provides information on the features of the cultivation of sphagnum moss by vertical and horizontal methods in the future design of a biotechnological system; describes the necessary conditions to achieve the maximum effect of air purification using this type of plant culture. The study results will be used in the development of unique equipment, namely a pilot prototype of a biotechnological system — a filter using sphagnum moss as a natural filter for air purification in a certain area. This development involves the use of automated control systems to create artificial conditions for plant culture — moss, which, for natural reasons, cannot exist in urban environments. In the long term, a biotechnological filter will effectively clean the air, cool the environment and reduce the noise level in those locations where it is impossible to plant many trees due to large buildings. Currently, groups of scientists around the world are conducting re-

search and experimental development of various solutions, including technologies that can significantly improve the urban environment using natural filters. Using mosses as a natural filter will absorb fine dust, purify the air, and create a favorable space.

Keywords: moss, sphagnum, biotechnological filter, *Sphagnum*, environment, vertical cultivation, moss cultivation, biomonitoring.

References

- 1 Sanger, P., & Splittgerber, V. (2016). *The City Tree: A Vertical Plant Filter for Enhanced Temperature Management*. Innovation in Climate Change Adaptation. Springer, Cham, 75–85.
- 2 Mamatkulov, U.K., Baitulin, I.O., & Nestereva, S.G. (1998). *Mokhoobraznye Srednei Azii i Kazakhstana [Bryophytes of the Middle Asia and Kazakhstan]*. Almaty: Institute of Botany and Phytointroduction [in Russian].
- 3 Parshina, G.N., & Nestereva, S.G. (2006). *Bioraznoobrazie rastenii: uchebnik [Biodiversity of plants: handbook]*. Almaty: Kazakh University [in Russian].
- 4 Kłos, A., Ziembik, Z., Rajfur, M., Dołhańczuk-Śródka, A., Bochenek, Z., Bjerke, J.W., & Świsłowski, P. (2018). Using moss and lichens in biomonitoring of heavy-metal contamination of forest areas in southern and north-eastern Poland. *Science of the Total Environment*, 627; 438–449.
- 5 Splittgerber, V., & Saenger, P. (2015). City tree: a vertical plant wall. *Air Pollution XXIII*, 295; 295–304.
- 6 World Health Organization (2006). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- 7 Krzyżanowski, M., Kuna-Dibbert, B., & Schneider, J. (2005). *Health effects of transport-related air pollution*. WHO Regional Office Europe.
- 8 Frahm, J., & Sabovljevic, M. (2007). Feinstaubreduzierung durch Moose. *Immissionsschutz-Berlin*, 12 (4); 152.
- 9 Tiede, R.I.I. (2015). *Nachhaltigkeit am Hamburger Hafen: Eine Studie über die Wirkung von Schiffsimmissionen auf die Gesundheit*. Thesis PhD, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg.
- 10 Kappis, C. (2007) Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ). *Von Pflanzen*, 15–18.
- 11 Roloff, A. (2013). Stadt-und Straßenbume der Zukunft–welche Arten sind geeignet. *Forstwiss Beitr Tharandt Beih*, 14; 173–187.
- 12 Thönnessen, M. (2006). Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegrünenden Wilden Weines (*Parthenocissustris cuspidata*). *Umwelt wissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 18 (1); 5–12.
- 13 Adamo, P., Giordano, S., Naimo, D., & Bargagli, R. (2008). Geochemical properties of airborne particulate matter (PM10) collected by automatic device and biomonitors in a Mediterranean urban environment. *Atmospheric environment*, 42 (2); 346–357.
- 14 Vasconcelos, M.T.S.D., & Tavares, H.M.F. (1998). Atmospheric metal pollution (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) in Oporto city derived from results for low-volume aerosol samplers and for the moss *Sphagnum auriculatum* bioindicator. *Science of the total environment*, 212 (1); 11–20.
- 15 Giordano, S., Adamo, P., Spagnuolo, V., & Vaglieco, B.M. (2010). Instrumental and bio-monitoring of heavy metal and nanoparticle emissions from diesel engine exhaust in controlled environment. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (9); 1357–1363.
- 16 Jeran, Z., Jacimovic, R., & Mikuz, P.P. (2003). Lichens and mosses as biomonitors. In *Journal de Physique IV*, 107; 675–678).
- 17 Limo, J., Paturi, P., & Makinen, J. (2018). Magnetic biomonitoring with moss bags to assess stop-and-go traffic induced particulate matter and heavy metal concentrations. *Atmospheric Environment*, 195; 187–195.
- 18 Harmens, H., Foan, L., Simon, V., & Mills, G. (2013). Terrestrial mosses as biomonitors of atmospheric POPs pollution: a review. *Environmental Pollution*, 173; 245–254.
- 19 Giordano, S., Adamo, P., Spagnuolo, V., Tretiach, M., & Bargagli, R. (2013). Accumulation of airborne trace elements in mosses, lichens and synthetic materials exposed at urban monitoring stations: towards a harmonisation of the moss-bag technique. *Chemosphere*, 90(2); 292–299.
- 20 Donato, A., Rinaldi, M., Paglione, M., Villani, M.G., Russo, F., Carbone, C., & Decesari, S. (2021). An evaluation of the performance of a green panel in improving air quality, the case study in a street canyon in Modena, Italy. *Atmospheric Environment*, 247; 118189.
- 21 Donovan, G.H., Jovan, S.E., Gatzliolis, D., Burstyn, I., Michael, Y.L., Amacher, M.C., & Monleon, V.J. (2016). Using an epiphytic moss to identify previously unknown sources of atmospheric cadmium pollution. *Science of the Total Environment*, 559, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.182>
- 22 Vuković, G., Urošević, M. A., Škrivanj, S., Milićević, T., Dimitrijević, D., Tomašević, M., & Popović, A. (2016). Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: a street study in Belgrade, Serbia. *Science of the Total Environment*, 542; 394–403.
- 23 Vuković, G., Urošević, M. A., Tomašević, M., Samson, R., & Popović, A. (2015). Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (*Sphagnum girgensohnii*). *Ecological Indicators*, 52; 40–47.

- 24 Lazić, L., Urošević, M. A., Mijić, Z., Vuković, G., & Ilić, L. (2016). Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: Integrated application of the OSPM, moss biomonitoring and spectral analysis. *Atmospheric Environment*, *141*; 347–360.
- 25 Macedo-Miranda, G., Avila-Pérez, P., Gil-Vargas, P., Zarazúa, G., Sánchez-Meza, J.C., Zepeda-Gómez, C., & Tejada, S. (2016). Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. *Springer Plus*, *5* (1); 1–13 <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2524-7>
- 26 Stafilov, T., Šajn, R., Barandovski, L., Andonovska, K.B., & Malinovska, S. (2018). Moss biomonitoring of atmospheric deposition study of minor and trace elements in Macedonia. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *11* (2); 137–152.
- 27 Goulden, M.L., & Crill, P.M. (1997). Automated measurements of CO₂ exchange at the moss surface of a black spruce forest. *Tree Physiology*, *17* (8–9); 537–542.
- 28 Capozzi, F., Adamo, P., Di Palma, A., Aboal, J.R., Bargagli, R., Fernandez, J.A., & Giordano, S. (2017). *Sphagnum palustre* clone vs native *Pseudoscleropodium purum*: A first trial in the field to validate the future of the moss bag technique. *Environmental Pollution*, *225*; 323–328.
- 29 Reskir R. (2016). *Passive contaminant sensor device used to sense air pollutants comprising polycyclic aromatic hydrocarbons or heavy metals or their compounds, comprises axenic devitalized Moss clone*. European Patent Application, EP 3 076 171 A1.
- 30 Zhao, W., Li, Z., Hu, Y., Wang, M., Zheng, S., Li, Q., & Sun, Y. (2019). Development of a method for protonema proliferation of peat moss (*Sphagnum squarrosum*) through regeneration analysis. *New Phytologist*, *221*(2); 1160–1171.
- 31 González, A.G., & Pokrovsky, O.S. (2014). Metal adsorption on mosses: toward a universal adsorption model. *Journal of colloid and interface science*, *415*; 169–178.
- 32 Beike, A.K., Spagnuolo, V., Lüth, V., Steinhart, F., Ramos-Gómez, J., Krebs, M., & Reski, R. (2015). Clonal in vitro propagation of peat mosses (*Sphagnum* L.) as novel green resources for basic and applied research. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *120* (3); 1037–1049.
- 33 Gonzalez, A.G., Pokrovsky, O.S., Beike, A.K., Reski, R., Di Palma, A., Adamo, P., & Fernandez, J.A. (2016). Metal and proton adsorption capacities of natural and cloned *Sphagnum* mosses. *Journal of colloid and interface science*, *461*; 326–334.
- 34 Capozzi, F., Carotenuto, R., Giordano, S., & Spagnuolo, V. (2018). Evidence on the effectiveness of mosses for biomonitoring of microplastics in fresh water environment. *Chemosphere*, *205*, 1–7.
- 35 Gaudig, G., Krebs, M., Prager, A., Wichmann, S., Barney, M., Caporn, S.J.M., & Joosten, H. (2017). *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat*, *20* (18); 1–30.
- 36 Decker, E.L., & Reski, R. (2020). Mosses in biotechnology. *Current opinion in biotechnology*, *61*, 21–27.
- 37 Oliver, M.J., Velten, J., & Wood, A.J. (2000). Bryophytes as experimental models for the study of environmental stress tolerance: *Tortularia* and desiccation-tolerance in mosses. *Plant Ecology*, *151* (1); 73–84.
- 38 Barker, D.H., Stark, L.R., Zimpfer, J.F., McIetchie, N.D., & Smith, S.D. (2005). Evidence of drought induced stress on biotic crust moss in the Mojave Desert. *Plant, Cell & Environment*, *28*(7); 939–947.
- 39 Khraiwesh, B., Qudeimat, E., Thimma, M., Chaiboonchoe, A., Jijakli, K., Alzahmi, A., & Salehi-Ashtiani, K. (2015). Genome-wide expression analysis offers new insights into the origin and evolution of *Physcomitrella patens* stress response. *Scientific reports*, *5*(1); 1–15.
- 40 Waterman, M.J., Bramley-Alves, J., Miller, R.E., Keller, P.A., & Robinson, S.A. (2018). Photoprotection enhanced by red cell wall pigments in three East Antarctic mosses. *Biological Research*, *51*; 211–215.
- 41 Campos, M.L., Prado, G.S., Dos Santos, V.O., Nascimento, L.C., Dohms, S.M., da Cunha, N.B., & Dias, S.C. (2020). Mosses: versatile plants for biotechnological applications. *Biotechnology Advances*, *41*; 107533.
- 42 Decker, E.L., & Reski, R. (2020). Mosses in biotechnology. *Current opinion in biotechnology*, *61*; 21–27.
- 43 Nerlich, A., & Dannehl, D. (2021). Soilless cultivation: dynamically changing chemical properties and physical conditions of organic substrates influence the plant phenotype of lettuce. *Frontiers in Plant Science*, *2235*.
- 44 Dannehl, D., Suhl, J., Ulrichs, C., & Schmidt, U. (2015). Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *88* (1); 23–28.
- 45 Emmel, M. (2005). Growing ornamental plants in *Sphagnum* biomass. *International Symposium on Growing Media*, *779*; 173–178.
- 46 Savich-Lubitskaia, L.I. (1952). *Flora sporovykh rastenii SSSR. T. 1. Listostebelnye mkhi (1). Sfgnovye (torfianye) mkhi [Flora of spore plants of the USSR. T. 1. Deciduous mosses (1). Sphagnum (peat) mosses]*. Moscow-Leningrad: Publishing house Academy of Sciences of USSR [in Russian].
- 47 Boch, M.S., & Smagin, V.A. (1993). *Flora i rastitelnost bolot Severo-Zapada Rossii i printsipy ikh okhrany [Flora and vegetation of swamps of the North-West of Russia and principles of their protection]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- 48 McCarter, C.P., & Price, J.S. (2014). Ecohydrology of *Sphagnum* moss hummocks: mechanisms of capitula water supply and simulated effects of evaporation. *Ecohydrology*, *7* (1); 33–44.
- 49 Gaudig, G., Fengler, F., Krebs, M., Prager, A., Schulz, J., Wichmann, S., & Joosten, H. (2014). *Sphagnum* farming in Germany—a review of progress. *Mires and Peat*, *13* (8); 1–11.
- 50 Stenøien, H., Bakken, S., & Flatberg, K.I. (1997). Phenotypic variation in the *Sphagnum recurvum* complex: a cultivation experiment. *Journal of Bryology*, *19* (4); 731–750.
- 51 Antropova, T.A. (1974). *Izuchenie temperaturnoi adaptatsii na kletki nekotorykh vidov mkhov [Study of temperature adaptation on cells of some mosses species]*. *Tsitologiya — Cytology*, *16*; 38–42 [in Russian].

52 Shuvalov, V.N. (2022). *Vse sekrety vyrashchivaniia rastenii: Chto takoe mokh Sphagnum: kak ispolzovat eto rastenie [All secrets of plant cultivation: What is moss Sphagnum: How to use this plant]*. Retrieved from <https://klumba.guru/dikorastuschie-rasteniya/chto-takoe-moh-sphagnum-kak-ispolzovat-eto-rastenie.html> [in Russian].

53 Malmer, N., Albinsson, C., Svensson, B.M., & Wallén, B. (2003). Interferences between Sphagnum and vascular plants: effects on plant community structure and peat formation. *Oikos*, 100 (3); 469–482.

54 Harley, P.C., Tenhunen, J.D., Murray, K.J., & Beyers, J. (1989). Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra Sphagnum mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia*, 79 (2); 251–259.

А.К. Калиева^{1*}, Р.К. Блиева², Г.Б. Адманова¹, Б. Бақытжанқызы¹, Н.К. Кемалова¹

¹К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан;
²«Антиген» Ғылыми-өндірістік кәсіпорыны ЖШС, Алматы, Қазақстан
*Хат-хабарларға арналған автор: aigul_03@mail.ru

Пектинлиаза ферменттерін түзуші *Penicillium cyclopium* штамының биосинтезіне әртүрлі көміртек және азот көздерінің әсері

Мақалада *P. cyclopium* культурасында пектинлиаза ферменттерінің биосинтезіне көміртек және азотты қоректену көздерінің әсері зерттелді. Қоректік ортада көміртегі және азот көздері *P. cyclopium*-нің конструктивті алмасуына ғана емес, сонымен бірге пектинлиаза ферменттерінің синтезіне де әсерін тигізеді. *P. cyclopium* культурасының көміртек қоректік көздеріне қажеттілігін анықтағанда полиметилгалактуронатлиаза (ПМГЛ) мен полигалактуронатлиазаның (ПГЛ) культуралық сұйықтықта 5,0-ден 5,7-ге дейін түзілуін қамтамасыз ететін ең қолайлы көміртегі көзі фруктоза екені белгілі болды. Пектинлиаза ферменттерінің түзілуі үшін ең қолайлы азот көзі аммоний хлориді болып табылды. Қоректік ортаға азот көзі ретінде тек аммоний хлоридін қосқанда пектинлиаза ферментінің белсенділігі полиметилгалактуронатлиаза (ПМГЛ) үшін — 2,8 және полигалактуронатлиаза (ПГЛ) үшін — 3,0 есе көтерілді. Түптік жағдайда *P. cyclopium* культурасында ПЛ ферменттерінің барынша көп түзілетін мезгілін және өсірудің ұзақтығын анықтау үшін қолайлы көміртегі көзі — фруктоза мен азот көзі — аммоний хлоридінде культураның өсуі және ферменттердің түзілу динамикасы зерттелді. Культуралық сұйықтықта ПЛ ферменттерінің белсенділігін анықтау мен өскен мицелийдің биомассасын есептеуді әр 24 сағат сайын жүргізілген. Барлық үдерістің ұзақтығы 168 сағатқа созылды. Ферменттердің белсенді биосинтезі стационарлық фазада 3,0–3,5 тәулікте жүрді, ал өсірудің 4-ші тәулігінен соң күрт төмендеді. *P. cyclopium* культурасында пектинлиаза ферменттерінің биосинтезін зерттеудің нәтижесінде оның табиғаты конститутивті екені анықталды. Спецификалық субстраттар зерттелген ферменттердің түзілуін күшейтпеді.

Кілт сөздер: микроағза, пектинлиаза ферменттері, ферменттер, *P. cyclopium*, полиметилгалактуронатлиаза, полигалактуронатлиаза, пектинлиазды белсенділік, биосинтез.

Kipicne

Пектин ыдыратушы ферменттерінің гидролитикалық және трансэлиминативті механизмі әсерінің кешенді қалыптасу жағдайы жөнінде әдебиеттерде көптеген мәліметтер бар, бірақ тек пектинлиаза ферменттерінің биосинтезі жайында өте аз жазылған [1–4].

Пектингидролазалар мен пектинлиазалар ыдырататын өсімдіктердің пектинді полисахаридтері жоғары сатыдағы өсімдіктердің барлық ұлпаларында және клетка аралық еркін кеңістіктерінде көп таралған [5–8]. Олар табиғатта негізінен суда ерімейтін протопектин түрінде кездеседі. Оларды өсімдіктер өсудің бастапқы сатысында, яғни клетканың сыртқы қабығы үлкейіп өсу кезеңінде түзеді. Өсіп келе жатқан өсімдіктің жас ұлпасында сүректелген өсімдікке қарағанда пектиндік заттар көп болады.

Клетка қатпарларының арасында пектиндік полисахаридтердің көптеп кездесуі, клеткаларды біріктіретін және ұлпа құрылысын құрайтын, «цементтеуші» — қатайтып біріктіруші материалдың ролін атқарады [9–12].

Құрамында пектин субстраты бар ортада кейбір микроорганизмдер клетка ішінде және клеткадан тыс пектинлиаза мен гидролазаның күрделі жүйесін қалыптастырады. Жасанды ортада көміртек көзі ретінде пектатпен бірге *Erwinia caratovora* 14-ті өсіргенде клеткадан тыс эндопектатлиазаларды (эндо-ПКТЛ) және полигалактуроназаларды (ПГ), клетка аралық 4 пектиндеполимеразаларды түзеді [13].

Мерзімді өсіру жағдайында жасанды ортада фермент түзілуінің әртүрлі эффекторларымен *Erwinia caratovora* var. *atroserptica* 36 А және *Erwinia chrysanthemi* фитопатогенді бактериялары түзетін пектатлиазаның изоферменттеріне зерттеу жүргізілді. Пектатлиаза изоферменттерінің жеке синтезін реттейтін кейбір заңдылықтары белгілі болды. Қоректік ортаға қоздырғыш ретінде полипектат натрийін қосып және қоспай фермент секрециясының үдерісі жүргізілді. Клеткада қоздырғыштың қатысуынсыз пектатлиаза секрециясының жылдамдығы анықталды, қоздырғыш барда ол 6–9 есе артатын [2, 14].

Біздің жұмысымыздың мақсаты *P. cyclopium* 2–11 жоғары белсенді штамына әр түрлі көміртек және азот көздерінің әсерін зерттеу болып табылады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде сұрыптау арқылы алынған пектинлиаза ферменттерінің түзушісі *P. cyclopium* 2–11 микромицеті алынды. Өсіру 28–30 °С болғанда шайқағышта 180–220 айн/мин жасайтын 100 мл қоректік ортасы бар Эрленмейер колбаларында (көлемі 750 мл) жүргізілді.

Көміртек көздері ретінде 2 % мөлшерінде қосылған моно-, ди-, полисахаридтер мен көп атомды спирттер алынды. Азот көздері ретінде мөлшері азотқа шаққанда 0,15 %-ға тең әр түрлі минералды азот көздері — нитрат және аммоний тұздары, сонымен қатар азоттың органикалық көздері — 1 % мөлшерінде қосылған пептон және казеин алынды. Себінді материалы ретінде ортаның көлеміне қарай 2 % есебінде 1 мл-де 170 000–190 000-ға дейін конидийлері бар спора суспензиясы қолданылды.

Пектинлиаза ферменттерінің белсенділігін бірқатар модификацияланған Витакердің тәсілімен, Н.А. Родионовамен бірлесіп жазылған Оствальдтің вискозиметрінде анықтадық [15].

Белсенділік бірлігі ретінде салыстырмалы тұтқырлығының кері шамасына 38–40 °С температурада 1 минут ішіндегі өлшем бірлігіне өсуін қамтамасыз ететін фермент мөлшері алынды.

Культуралдық сұйықтықта ПЛ ферменттерінің белсенділігін анықтау мен өскен мицелийдің биомассасын есептеуді әр 24 сағат сайын жүргіздік. Пектинлиаза белсенділігінің өсуімен қатар, культураның өнімділігі (биомасса түзуі) де артады. Пектинлиаза белсенділігі анықталғаннан кейін, 105 °С-да тұрақты салмаққа жеткенше кептіру арқылы мицелийдің құрғақ салмағы анықталып, культуралардың өнімділігіне есептеу жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Пектинлиаза ферменттерінің түзілуіне культуралардың оларды түзу дәрежесін зерттеуде қоректік ортаның құрамы шешуші әсерін тигізеді және олардың ішінде көміртегінің қоректік көзі елеулі орын алады.

Қоректік ортадағы көміртегі және азот көздері микроорганизмдердің конструктивті алмасуына ғана емес, сонымен бірге пектинлиаза ферменттерінің синтезіне де әсерін тигізеді. *P. cyclopium* культурасының көміртегі көздеріне мұқтаждығын зерттеу кезінде моно, ди-, полисахаридтер және көп атомды спирттер пайдаланылды. Биомассасы бір граммға дейін жиналған фруктоза мен жоғары этерленген D-галактуронаннан басқа барлық сыналған көміртегі көздері төмен конструктивті зат алмасуды қамтамасыз етті (кесте 1). Пектинлиаза ферменттерін — полиметилгалактуронатлиаза (ПМГЛ) мен полигалактуронатлиазаны (ПГЛ) культуралдық сұйықтықта 5,0 б/мл-ден 5,7 б/мл-ге дейін түзілуін қамтамасыз ететін ең қолайлы көміртегі көзі фруктоза болып табылды.

Кесте 1

***P. cyclopium*-де әртүрлі көміртек көздері бар қоректік ортада пектинлиаза ферменттерінің түзілуі**

Көміртегі көзі	рН	Биомасса, г/100 мл	ПЛБ, б/мл		1 г мицелийдегі белсенділік көрсеткіші	
			ПМГЛ	ПГЛ	ПМГЛ	ПГЛ
Сахароза (бақылау)	8,0	0,85	4,6 ± 0,06	5,2 ± 0,31	1,3	2,4
Фруктоза	8,0	1,01	5,0 ± 0,06	5,7 ± 0,15	5,0	5,6
Галактоза	8,0	0,66	2,2 ± 0,12	2,1 ± 0,20	3,0	3,2
Глюкоза	8,0	0,86	1,5 ± 0,06	2,1 ± 0,10	1,7	2,4
Мальтоза	8,0	0,56	1,8 ± 0,20	1,5 ± 0,29	1,8	2,7
Ксилоза	8,0	0,78	1,5 ± 0,06	2,2 ± 0,12	2,0	2,6
Лактоза	8,0	0,52	2,5 ± 0,29	2,1 ± 0,10	3,8	4,0
Маннит	8,0	0,51	1,8 ± 0,20	2,0 ± 0,20	3,5	3,9
Сорбит	8,0	0,76	1,6 ± 0,28	1,6 ± 0,06	1,3	2,1
Крахмал	8,0	0,51	1,2 ± 0,06	1,2 ± 0,06	2,1	2,4
Жоғары этерленген D-галактуронан	8,0	0,94	3,4 ± 0,80	3,5 ± 0,29	3,6	3,7
Аз этерленген D-галактуронан	8,0	0,63	2,3 ± 0,30	2,5 ± 0,29	3,7	4,0
Нср			3,52 ± 0,30	3,79 ± 0,24		

Пектинлиаза ферменттерінің конститутивті және индукциялық табиғатын білу үшін зерттелетін культураның қоректік ортасына ең қолайлы көміртегі көзі — фруктозамен бірге спецификалық субстраттарды — жоғары этерленген D-галактуронан мен аз этерленген D-галактуронанды қостық (кесте 2). Осы тәжірибелер *P.cyclopium* культурасындағы пектинлиаза ферменттері конститутивті табиғатқа ие болғандықтан спецификалық субстраттар ең қолайлы көміртегі көзі ретінде зерттелетін ферменттердің синтезін қоздырмайтынын көрсетті. Егер фруктозада пектинлиазды белсенділік ПМГЛ үшін 5,0 б/мл және ПГЛ үшін 5,7 б/мл болса, оларға спецификалық субстраттарды қосқанда культуралдық сұйықтықта ферментативті белсенділік көтерілмеді. Бұл көрсеткіштер спецификалық субстраттардың қатысуы кезінде ферменттер синтезінің қозуы жүрмейтіндігін дәлелдейді.

Кесте 2

***P. cyclopium*-де пектинлиаза ферменттерінің биосинтезіне қолайлы көміртегі көзіне спецификалық субстраттарды қосудың әсері**

Тәжірибе нұсқалары	рН	Биомасса, г/100 мл	ПЛБ, б/мл		1 г мицелийдегі белсенділік көрсеткіші	
			ПМГЛ	ПГЛ	ПМГЛ	ПГЛ
Фруктоза (бақылау)	8,0	1,4	5,0 ± 0,06	5,7 ± 0,15	9,2	11,4
Жоғары этерленген D-галактуронан	8,0	0,94	3,5 ± 0,20	3,5 ± 0,20	3,7	3,7
Аз этерленген D-галактуронан	8,0	0,82	1,8 ± 0,10	2,0 ± 0,12	2,2	2,4
Фруктоза + жоғары этерленген D-галактуронан	8,0	1,04	5,0 ± 0,06	5,6 ± 0,10	8,0	9,0
Фруктоза + аз этерленген D-галактуронан	8,0	1,02	4,9 ± 0,06	5,5 ± 0,16	7,9	8,0
Нср			5,79 ± 0,14	6,39 ± 0,21		

Қоректік ортада пектинлиаза ферменттерінің синтезі мен культураның өнімділігіне азот көздері де өз әсерін тигізеді. Пектинлиаза ферменттерінің биосинтезіне азотты қоректену көздерінің әсерін зерттеу барысында бейорганикалық және органикалық азот көздері пайдаланылды (кесте 3).

Жүргізілген тәжірибелер органикалық азот көздерімен салыстырғанда бейорганикалық азот көздері пектинлиаза ферменттерін көбірек түзуге бейімді екендігін көрсетеді. *P. cyclopium*-да пектинлиаза ферменттерінің түзілуі үшін ең қолайлы азот көзі аммоний хлориді екендігі белгілі болды.

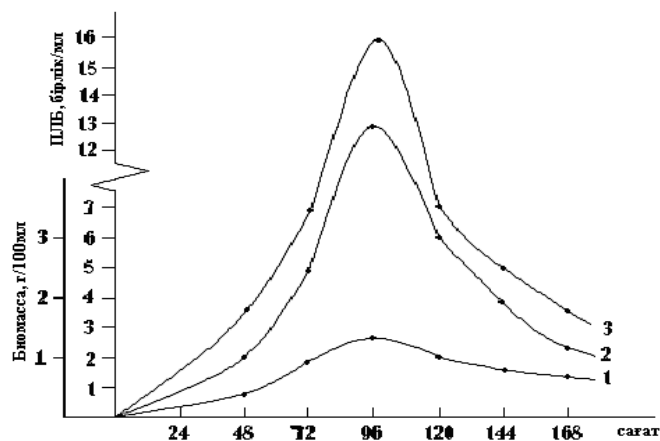
Кесте 3

***P.cyclopium*-де пектинлиаза ферменттерінің қоректік ортада бейорганикалық және органикалық азот көздерімен түзілуі**

Азот көзі	рН	Биомасса, г/100 мл	ПЛБ б/мл		1 г мицелийдегі белсенділік көрсеткіші	
			ПМГЛ	ПГЛ	ПМГЛ	ПГЛ
NaNO ₃ (бақылау)	8,0	1,01	5,0 ± 1,16	5,7 ± 0,15	5,0	5,7
(NH ₄) ₂ SO ₄	8,5	0,61	4,1 ± 0,16	4,7 ± 0,10	6,7	7,7
NH ₄ NO ₃	8,0	0,6	5,1 ± 0,21	3,9 ± 0,20	8,5	6,5
NH ₄ Cl	8,5	1,4	12,9 ± 0,27	15,9 ± 0,11	9,2	11,4
(NH ₄) ₃ PO ₄	8,0	0,9	6,8 ± 0,15	9,0 ± 0,06	7,5	10,0
NH ₄ H ₂ PO ₄	8,0	0,8	3,2 ± 0,53	6,7 ± 0,15	4,0	8,4
Казеин	9,0	1,2	2,5 ± 0,21	2,8 ± 0,06	2,0	2,3
Пептон	9,0	1,0	1,9 ± 0,10	1,9 ± 0,10	1,9	1,9
Нср			7,5 ± 0,50	9,1 ± 0,17		

Қоректік ортаға азот көзі ретінде тек аммоний хлоридін қосқанда пектинлиаза ферменттерінің белсенділігі бақылаумен салыстырғанда ПМГЛ үшін — 2,8 есе және ПГЛ үшін — 3,0 есеге артып, культураның өнімділігі 9,2–11,4 б/г мицелийге өсті. Пектинлиаза ферменттерінің түзілуі үшін қолайлы рН көрсеткішінің мәні 8,5 болып табылды. Азоттың бұл қоректік көзін ПЛ ферменттері биосинтезі үшін бұрын ешкім қолданбаған.

Түптік *P. cyclosporum* культурасында пектинлиаза ферменттерінің барынша көп түзілетін мезгілін және өсірудің ұзақтығын анықтау үшін үздіксіз өсіру жағдайында қолайлы көміртегі көзі — фруктоза мен азот көзі — аммоний хлоридінде культураның өсуі және ферменттердің түзілу динамикасы зерттелді. Культуралдық сұйықтықта ПЛ ферменттерінің белсенділігін анықтау мен өскен мицелийдің биомассасын есептеуді әр 24 сағат сайын жүргіздік (сурет 1). Барлық өсіру үдерісінің ұзақтығы 168 сағатқа созылды.



1 — биомасса; 2 — ПМГЛ, б/мл; 3 — ПГЛ, б/мл

Сурет 1. Мерзімді культура *P. cyclosporum*-де пектинлиаза ферменттерінің қолайлы көміртегі және азот көздерімен қоректік ортада түзілу динамикасы

Зерттеудің нәтижесінде экспоненциалды фазаның басында аздаған жылдамдықпен жүретін ферменттердің синтезінің нашарлағаны байқалды, ал экспоненциалды фазаның ортасында ферменттердің көбірек мөлшері түзілетіндігі, яғни ферменттердің ең көп түзілу деңгейі 4-ші тәулікте (ПМГЛ — 12,9 б/мл және ПГЛ — 15,9 б/мл) болатындығы белгілі болды. Культуралдық сұйықтықтың белсенділігі 4-ші тәуліктен соң күрт төмендеді. Биомассаның жиналуы кезінде дәл сондай жағдай байқалды, яғни мицелийдің ең жоғары жиналуы 4-ші тәулікте болды. Одан ары өсіру кезінде культура лизиске ұшырады және биомассаның көлемі төмендегендігі байқалды.

Қорытынды

Зерттеу барысында *P. cyclosporum* культурасындағы пектинлиаза ферменттерінің биосинтезіне көміртегі мен азоттың қоректену көздері әсер ететіндігі белгілі болды. Зерттелген ферменттердің түзілуі үшін қолайлы көміртегі және азот көздері болып фруктоза және аммоний хлориді екендігі анықталды. Сонымен қатар, зерттелген ферменттердің конститутивті табиғатқа ие болатындығы айқындалды. Ферменттердің біршама белсенді биосинтезі 3,0–3,5 тәулікте стационарлық фазада, ары қарай 4-ші тәулікте белсенділіктің күрт төмендеуімен жүретіндігі белгілі болды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Шевчик В.Е. Зависимость состава пектолитических ферментных комплексов бактерий рода *Erwinia* от химического состава среды культивирования / В.Е. Шевчик, А.Н. Евтушенко, Ю.К. Фомичев // Прикладная биохимия и микробиология. — 1992. — Т. 28. Вып. 1. — С. 87–93.
- 2 Шевчик В.Е. Изоферменты внеклеточных пектализ бактерий рода *Erwinia* / В.Е. Шевчик, А.Н. Евтушенко, Ю.К. Фомичев // Биохимия. — 1988. — Т. 53. Вып. 10. — С. 1629–1638.
- 3 Galazzo J.L. *Saccharomyces cerevisiae* in calcium-alginate beads induces cell alternations which accelerate glucose conversion to ethanol / J.L. Galazzo, J.E. Bailey // Biotechnol. Bioeng. — 1990. — Vol. 36, No. 4. — P. 417–426.
- 4 Desimone M.F. Ethanol tolerance in free and sol-gel immobilized *Saccharomyces cerevisiae* / M.F. Desimone, J. Degrossi, D.A. Miquel, E. Diaz Luis // Biotechnol Letters. — 2002. — Vol. 24, No. 19. — P. 1557–1559.
- 5 Фогарти В.М. Микробные ферменты и биотехнология / В.М. Фогарти. — М.: Агропромиздат, 1986. — 317 с.
- 6 Albersheim P. Über die bildung von ungesättigten abbauprodukten durehein pectin — abbauendes anzyme / P. Albersheim, Neukom, H. Neukom, H. Deuel // Helvetica Chimica Acta. — 1960. — Vol. 43, No. 10. — P. 1422–1426.

- 7 Whitcombe A.J. Structural characterization of the pectic polysaccharide, rhamnogalacturonan-II / A.J. Whitcombe, M.A. O'Neill, W. Steffan, P. Albersheim, G. Darvill // Carbohydrate Research. — 1995. — Vol. 11, No. 1. — P. 15–29.
- 8 Stevenson T.T. 3-Deoxy-d-lyxo-2-heptulosaric acid, a component of the plant cell-wall polysaccharide rhamnogalacturonan-II / T.T. Stevenson, A.G. Darvill, P. Albersheim // Carbohydrate Research. — 1988. — Vol. 25, No. 179. — P. 268–288.
- 9 Либберт Э. Физиология растений / Э. Либберт. — М.: Мир, 1976. — 581 с.
- 10 Fry S.C. The Growing Plant Cell Wall: Chemical and Metabolic Analysis / S.C. Fry // The Blackburn Press, Caldwell, 1988. — 333 p.
- 11 Родионова Н.А. Ферменты микроорганизмов, устойчивые к экстремальным условиям. Физико-химические свойства и применение. Ферменты, расщепляющие полисахариды клеточных стенок высших растений. Итоги науки и техники. Биотехнология / Н.А. Родионова, А.М. Безбородов. — М.: ВИНТИ, 1989. — Т. 19. — С. 196.
- 12 Aspinal G.O. Encyclopedia of Plant Physiology. New series / Ed. W. Tanner, F.A. Loewus. — Berlin: Springer-Verlag, 1981. — Vol. 2, No. 1. — P. 3–8.
- 13 Родионова Н.А. О локализации систем ферментов, катализирующих расщепление полисахаридов растительных клеточных стенок высших растений, пектиназы. (Обзор) / Н.А. Родионова, А.М. Безбородов // Прикладная биохимия и микробиология. — 1997. — Т. 33, № 5. — С. 467–487.
- 14 Бабицкая Е.В. Продукция пектатлиазы бактериями *Erwinia carotovora* var. *atroseptica* / Е.В. Бабицкая, В.Е. Шевчик, А.Н. Евтушенко // Микробиология. — 1993. — Т. 62. Вып. 2. — С. 253–257.
- 15 Родионова Н.А. Методы определения целлюлазной активности / Н.А. Родионова, Н.А. Тиунова, Р.В. Фениксова // Прикладная биохимия и микробиология. — 1966. — Т. 2. — С. 197–200.

А.К. Калиева, Р.К. Блиева, Г.Б. Адманова, Б. Бақытжанқызы, Н.К. Кемалова

Влияние различных источников углерода и азота на биосинтез пектинлиазных ферментов у *Penicillium cyclopium*

В статье изучено влияние источников углеродного и азотного питания на биосинтез пектинлиазных ферментов у *Penicillium cyclopium*. Источники углерода и азота в питательной среде оказывают влияние не только на конструктивный обмен *P. cyclopium*, но и на синтез их пектинлиазных ферментов. При изучении потребности *P. cyclopium* в источниках углеродного питания было установлено, что лучшим источником углерода является фруктоза, обеспечивающая накопление полиметилгалактуронатлиазы (ПМГЛ) и полигалактуронатлиазы (ПГЛ) в культуральной жидкости до 5,0 и 5,7 ед./мл. Лучшим источником азота для образования пектинлиазных ферментов является хлористый аммоний. При добавлении его в питательную среду в качестве единственного источника азота биосинтез пектинлиазных ферментов увеличивался в 2,8 раза для полиметилгалактуронатлиазы (ПМГЛ) и в 3,0 раза для полигалактуронатлиазы (ПГЛ) по сравнению с контролем, повышая продуктивность культуры до 9,2–11,4 ед./г мицелия. Оптимальным значением pH для роста и образования пектинлиазных ферментов является pH 8,5. Определение активности пектинлиазных ферментов в культуральной жидкости и учет выросшей биомассы мицелия проводили через каждые 24 ч. Продолжительность всего процесса выращивания длилась 168 ч. Наиболее активный биосинтез ферментов проходит в стационарной фазе на 3,0–3,5 сутки с последующим резким падением активности после 4-х суток культивирования. Показано, что биосинтез пектинлиазных ферментов *P. cyclopium* имеет конститутивную природу. Специфические субстраты не индуцировали образование исследуемых ферментов.

Ключевые слова: микроорганизм, пектинлиазные ферменты, ферменты, *P. cyclopium*, полиметилгалактуронатлиаза, полигалактуронатлиаза, пектинлиазная активность, биосинтез.

A.K. Kalieva, R.K. Blieva, G.B. Admanova, B. Bakytzhankyzy, N.K. Kemalova

Effect of various carbon and nitrogen sources on the biosynthesis of pectinliase enzymes in *Penicillium cyclopium*

This article studies the effect of carbon and nitrogen sources on the biosynthesis of pectinliase enzymes in *Penicillium cyclopium*. The carbon and nitrogen sources in the nutrient medium influence not only the constructive metabolism of *P. cyclopium* but also the synthesis of pectinliase enzymes. It is found that the best carbon source is fructose, which provides accumulation of polymethylgalacturonatliase (PMGL) and polygalacturonatliase (PGL) in culture fluid up to 5.0 and 5.7 units/ml. The best nitrogen source is ammonium chloride. When it was added to the nutrient medium as the only nitrogen source, the biosynthesis of pectinliase enzymes increased 2.8 times for polymethylgalacturonatliase (PMGL) and 3.0 times for polygalacturonatliase (PGL) compared with the control. The productivity of the culture increased to 9.2–11.4 units/g of mycelium. The optimal pH value for the growth and pectinliase enzymes biosynthesis was

pH — 8.5. Determination of the activity of pectinliase enzymes and mycelium biomass in the culture fluid was carried out every 24 hours. The duration of the entire growing process lasted 168 hours. The most active enzyme biosynthesis takes place in the stationary phase for 3.0–3.5 days, followed by a sharp drop in activity after 4 days of cultivation. It is identified that the biosynthesis of pectinliase enzymes in *P. cyclopium* has a constitutive nature. Specific substrates did not induce the enzymes biosynthesis.

Keywords: microorganism, pectinliase enzymes, enzymes, *P. cyclopium*, polymethylgalacturonatliase, polygalacturonatliase, pectinliase activity, biosynthesis.

References

- 1 Shevchik, V.E., Evtushenkov, A.N., & Fomichev, Yu.K. (2006). Zavisimost sostava pektoliticheskikh fermentnykh kompleksov bakterii roda *Erwinia* ot khimicheskogo sostava sredey kultivirovaniia [Dependence of the composition of pectolytic enzyme complexes of bacteria of the genus *Erwinia* on the chemical composition of the culture medium]. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia — Applied biochemistry and microbiology*, 28 (1); 87–93 [in Russian].
- 2 Shevchik, V.E., Evtushenkov, A.N., & Fomichev, Yu.K. (1988). Izofermenty vnekletochnykh pektatliaz bakterii roda *Erwinia* [Isoenzymes of extracellular pektatliases of bacteria of the genus *Erwinia*]. *Biokhimiia — Biochemistry*, 53 (10); 1629–1638 [in Russian].
- 3 Galazzo, J.L., & Bailey, J.E. (1990). Growing *Saccharomyces cerevisiae* in calcium-alginate beads induces cell alternations which accelerate glucose conversion to ethanol. *Biotechnol. Bioeng.*, 36 (4); 417–426.
- 4 Desimone, M.F., Degrossi, J., Miquel, D.A., & Diaz Luis, E. (2002). Ethanol tolerance in free and sol-gel immobilized *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Letters*, 24 (19); 1557–1559.
- 5 Fogarti, V.M. (1986). *Mikrobye fermenty i biotekhnologiia [Microbial enzymes and biotechnology]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
- 6 Albersheim, P., Neukom, H., & Deuel, H. (1960). Uber die bildung von undesattigten abbauprodukten durehein pectin — abbauendes anzyme. *Helvetica Chimica Acta*, 43(10); 1422–1426.
- 7 Whitcombe, A.J., O'Neill, M.A., Steffan, W., Albersheim, P., & Darvill, A.G. (1995). Structural characterization of the pectic polysaccharide, rhamnogalacturonan-II. *Carbohydrate Research*, 271, 11(1); 15–29.
- 8 Stevenson, T.T., Darvill, A.G., & Albersheim, P. (1988). 3-Deoxy-d-lyxo-2-heptulosaric acid, a component of the plant cell-wall polysaccharide rhamnogalacturonan-II. *Carbohydrate Research*, 25 (179); 268–288.
- 9 Libbert, E. (1976). *Fiziologiia rastenii [Plant Physiology]*. Moscow: Mir [in Russian].
- 10 Fry, S.C. (1988). *The Growing Plant Cell Wall: Chemical and Metabolic Analysis*. The Blackburn Press, Caldwell.
- 11 Rodionova, N.A., & Bezborodov, A.M. (1989). *Fermenty mikroorganizmov, ustoiichivye k ekstremalnym usloviyam. Fiziko-khimicheskie svoistva i primenenie. Fermenty, rasshepliaiushchie polisakharidy kletochnykh stenok vysshikh rastenii. Itogi nauki i tekhniki. Biotekhnologiia [Enzymes of microorganisms resistant to extreme conditions. Physico-chemical properties and application. Enzymes that break down polysaccharides of the cell walls of higher plants. Results of science and technology. Biotechnology]*. Moscow: VINITI, 19, 196 [in Russian].
- 12 Aspinal, G.O. (1981). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Ed. Tanner W., Loewus F.A. Berlin: Springer-Verlag, 2(1), 3–8.
- 13 Rodionova, N.A., & Bezborodov, A.M. (1997). O lokalizatsii sistem fermentov, kataliziruiushchikh rassheplenie polisakharidov rastitelnykh kletochnykh stenok vysshikh rastenii, pektinazy. (Obzor) [On localization of enzyme systems catalyzing the cleavage of polysaccharides of plant cell walls of higher plants, pectinase (Review)] *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia — Applied biochemistry and microbiology*, 33 (5); 467–487 [in Russian].
- 14 Babickaia, E.V., Shevchik, V.E., Evtushenko, A.N., & Fomichev, Yu.K. (1993). Produktsiia pektatliazy bakteriiami *Erwinia carotovora* var. atroseptica [Production of pektatliase by bacteria *Erwinia carotovora* var. atroseptica]. *Mikrobiologiia — Microbiology*, 62(2); 253–257 [in Russian].
- 15 Rodionova, N.A., Tiunova, N.A., & Feniksova, R.V. (1966). Metody opredeleniia tselliulaznoi aktivnosti [Methods for determining cellulase activity]. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia — Applied biochemistry and microbiology*, 2; 197–200 [in Russian].

A.T. Khussainov¹, K.M. Shulembayeva^{1*}, E. Arkhipov²,
I.B. Fakhrudanova¹, Sh.N. Durmekbayeva¹

¹*Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan;*

²*State National Nature Park “Burabay”, Burabay district, Aqmola region, Kazakhstan*

**Corresponding author: sh.zhibek@mail.ru*

Community composition and population dynamics of vertebrates in the State National Nature Park “Burabay”

The article presents the analysis results of vertebrate community composition in the State National Natural Park “Burabay” and its population dynamics for 2016–2020, as a basic component of the ecological network of specially protected natural areas, ensuring the conservation and restoration of biological diversity, both typical and unique landscapes. The route method of animal registration on the trial plot was applied to study and estimate the number of ungulates, carnivores, rodents, and guans. The animal life forms were classified according to the morphology of A.N. Formazov. The typical nature of the species composition of the park is confirmed by the presence of characteristic communities inherent in the steppe zone. The uniqueness of the species composition of vertebrates lies in the presence of species characteristic to the forest ecosystem; boreal relic animals; species of animals listed in the Red Book of Kazakhstan and species diversity.

Keywords: park, steppe, vertebrates, animals, typicality, uniqueness, types, dynamics.

Introduction

The fauna is an integral part of the biosphere and basic component of ecological network of protected natural areas, which ensures the preservation and restoration of biological diversity, both typical and unique landscapes [1]. Due to the violation of the integrity of their habitat, illegal fishing (poaching), unintentional destruction, and environmental pollution, there is a significant depletion in the numbers of animals and its diversity [2].

To protect wildlife several legislative frameworks have been created in Kazakhstan. The International Convention on Biodiversity was ratified [3], “Ecological Code” [4], “On Protection, Reproduction and Use of Animal World” [5], “On Specially Protected Natural Areas” [6] have been adopted.

In accordance with the Ecological Code of the Republic of Kazakhstan, one of the principles of saving biodiversity is the ecosystem approach in the environmental control [4]. In this regard, it is important to observe the landscape-geographical principle of the reserve territory, since each zone has its own species diversity. Kazakhstan occupies a special place in the biosphere in terms of its natural wealth and diversity.

The National report on the state of the environment [7] provides data on the species composition of the fauna and the list of threatened and endangered animal species is in the Red Book of Kazakhstan [8, 9]. The characteristics of the latitudinal-zonal types of the steppes of Kazakhstan are described by T.I. Isachenko and E.I. Rachkovskaya [10]. The steppe zone is divided into five latitudinal-zonal (subzonal) types [11]. There are four climatic zones on the territory of Northern Kazakhstan: forest-steppe, steppe, dry steppe, and semi-desert [10]. The fauna of the steppe zone is described in the work of S.A. Bulanova and S.K. Gorelova [12].

The State National Natural Park “Burabay” (hereinafter — SNNP “Burabay”) is located in the north of the Kazakh Hummocks, belongs to the steppe zone, which is one of the richest and most interesting regions in terms of biological diversity.

The study aims to analyze the community composition of vertebrates in SNNP “Burabay” and to examine its dynamics for 2016–2020.

Scientific novelty and significance. The article describes typical and unique species of vertebrates and their dynamics in the park for 2016–2020. The comparative assessment of the vertebrate abundance in the studied area and the steppe zone of Kazakhstan, Russia, and other countries of the Eurasian continent are given.

Experimental

The study object is the SNNP “Burabay”; the study subject is the community composition and population dynamics of vertebrates in the SNNP “Burabay”.

The territory of the national park “Burabay” is divided into four functional zones: protected area — 14,052 ha (10.8 %); ecological stabilization zone — 43,221 ha (33.5 %); tourist and recreational activities zone — 11,280 ha (8.7 %); limited economic activity zone — 60,746 ha (47 %). There are 10 forestry districts on the park territory.

SNNP “Burabay” occupies a mountain-forest area located in Kokshetau Upland. The territory relief is varied: most of it is occupied by steppes, hummocks, flat, slightly dissected, and river valleys, mountains covered with forests. The height of the Kokshetau range is 887 m [13].

There are many picturesque lakes in the park — Burabay, Shchuchye, Kotyrkol, Bolshoye and Maloye Chebachye, etc. Most of the lakes are fresh, some are brackish. There is an extensive network of rivers and streams (Sarybulak, Gromovaya, Kolchakty, Kilchakty, Imanysky brook etc.).

The soils are represented by ordinary chernozem, southern chernozem, gray forest soils, meadow chernozems; meadow chernozem, meadow bog and boggy soils, solonchaks, salts, salt marshes, burozems and soddy brown earth and fragmentary soils [14].

The land cover of SNNP “Burabay” includes the following types of vegetation: forest, shrub, meadow, steppe, boggy, as well as water, saline-solonchak communities.

To analyze the vertebrate communities, we have used the results of our field observations for 2019–2020, also the Nature Chronicle of the SNNP “Burabay” for 2016–2018 [15].

The study of the species composition and their abundance was carried out by the following methods: 1) the route method and registration of animals on trial sites — for the entire species composition of animals; 2) running — for ungulates, carnivores, rodents, and chickens; 3) in places of winter accumulation — for ungulates and chickens; 4) registration of nesting sites for birds; 5) visually in the mountains — for ungulates, carnivores, rodents, and chickens; 6) photography. The life forms of animals were classified according to the morphology of A.N. Formazov.

Results and Discussion

The fauna of SNNP “Burabay” is represented by 621 species belonging to 31 orders, including 13 — fishes, 3 — amphibians, 7 — reptiles, 191 — birds, and 47 — mammals. Now 14 species of animals are listed in the Red Book of Kazakhstan. 4 types of birds are rare and endangered extinction: crane (*Grus grus*), golden eagle (*Aquila*), white-tailed eagle (*Haliaeetus alibicilla*), black-headed gull (*Lams ichthyaeus*) and 1 species of mammal pine marten (*Martes martes*) live in the park, 8 representatives are listed in the International List of Conservation of Nature (ILCN).

Table 1 demonstrates the vertebrate community composition by classes, orders, families, and their ratios. The typicality of the vertebrate species composition lies in the presence of typical animals for the steppe zone of Northern Kazakhstan. However, they are distinguished by an abundance of species composition, which are expressed in a significant ratio of families, genera, and species.

From the class of birds — passeriformes, mammals — rodents, fish — cyprinids predominate. The highest ratio of family, genus and species was found in the Anseriformes (1:11:22) and Accipitridae (1:7:16).

The uniqueness of the vertebrates is in the presence of species characteristic to the forest ecosystem; boreal relic animals; species of animals listed in the Red Book of Kazakhstan and species diversity. The fauna of pine forests is richer than the surrounding steppes. The uniqueness of the vertebrates in the territory of the SNNP “Burabay” is a mixture of forest, steppe and mountain elements, as well as European and Siberian animal species.

The indigenous species are elk (*Alcesalces* (L.), Siberian Roe Deer (*Capreolus pygargus* (Pallas), brown hare (*Lepus europaeus* (P), badger (*Meles meles* (L.), steppe polecat (*M. Eversmanni* Lesson), stoat (*M. erminea* (L.), weasel (*Mustela nivalis* (L.), pine marten (*Martes martes* (L.), fox (*V. vulpes* (L.), wolf (*Canis lupus* (L.), lynx (*Lynx lynx* (L.); from birds — black grouse (*Lyrurus tetrix* (L.), willow grouse (*Lagopus lagopus* (L.), gray partridge (*Perdix perdix* (L.), quail (*Coturnix coturnix* (L.) and many others.

These typical animal species of the Siberian taiga live next to the inhabitants of the southern steppes such as corsac (*Vulpes corsac* (L.), little souslik (*S. pygmaeus* (P), brown hare (*Lepus europaeus* (P), steppe polecat (*M. Eversmanni* Lesson), but are extremely rare.

The muskrat (*Ondatra zibethicus* L.) lives in rivers, lakes and wetlands.

The ratio of the main taxonomic groups of animals on the territory of SNNP "Burabay"

Orders	Families		Genus		Species		Relation — families; genus; species
	A	B	A	B	A	B	
<i>Avifauna (Aves)</i>							
Total	45	100	105	100	191	100	1:2,3:4,2
Passeriformes	21	46,8	36	34,4	69	36,1	1:1,7:3,2
Piciformes	1	2,2	3	2,9	5	2,6	1:3:5
Bucerotiformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Coraciiformes	2	4,5	2	1,9	2	1,0	1:2:2
Apodiformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Caprimulgiformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Strigiformes	1	2,2	5	4,8	7	3,7	1:5:7
Cuculiformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Columbiformes	1	2,2	3	2,8	4	2,0	1:3:4
Charadriiformes	5	11,2	19	18,2	38	19,9	1:3,8:7,6
Otidiformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Gruiformes	2	4,5	5	4,8	6	3,1	1:2,5:3
Galliformes	1	2,2	4	3,8	4	2,0	1:4:4
Falconiformes	1	2,2	1	0,9	6	3,1	1:1:6
Accipitriformes	1	2,2	7	6,8	16	8,4	1:7:16
Anseriformes	1	2,2	11	10,5	22	11,5	1:11:22
Pelecaniformes	1	2,2	2	1,9	2	1,0	1:2:2
Suliformes	1	2,2	1	0,9	1	0,6	1:1:1
Podicipediformes	1	2,2	1	0,9	4	2,0	1:1:4
<i>Mammalia</i>							
Total	13	100	26	100	47	100	1:2:3,6
Lagomorpha	1	7,7	1	3,8	2	4,3	1:1:2
Rodentia	4	30,8	10	38,5	19	40,4	1:2,5:4,8
Artiodactyla	2	15,4	4	15,4	4	8,5	1:2:2
Carnivora	3	23,0	5	19,2	10	21,3	1:1,7:3,3
Chiroptera	1	7,7	2	7,7	5	10,6	1:2:5
Insectivora	2	15,4	4	15,4	7	14,9	1:2:3,5
<i>Reptilia</i>							
Total	3	100	3	100	7	100	1:1:2,3
Lepidosus	3	100	3	100	7	100	1:1:2,3
<i>Amphibia</i>							
Total	2	100	2	100	3	100	1:2:1,5
Dimock	2	100	2	100	3	100	1:2:1,5
<i>Osteichthyes</i>							
Total	4	100	11	100	13	100	1:2,7:3,3
Perciformes	1	25	2	18,2	2	15,4	1:2:2
Salmaniformes	1	25	1	9,1	2	15,4	1:1:2
Cypriniformes	1	25	7	63,6	8	61,5	1:7:8
Ecosiformes	1	25	1	9,1	1	7,7	1:1:1

Note: A — the absolute quantity of species in the group; B — the percentage of the total quantity of species.

Ornithological analysis shows that the territory is mainly inhabited by forest-steppe avifauna of European origin. The avifauna is represented mainly by European species with a small proportion of Siberian forms, such as eastern turtle dove (*Streptopelia orientalis*), spotted flycatcher (*Muscicapa Striata*), chiffchaff (*Phylloscopus collybitus*), pine bunting (*Emberiza leucocephala*). Species characteristic to taiga like western capercaillie (*Tetrao urogallus*), black woodpecker (*Dryocopus martius*), willow tit (*Parus montanus*), bullfinch (*Pyrrhula pyrrhula*) live here.

To enrich the species diversity of the fauna in the lands of Burabay, from 1938 to 1972, 8 species of mammals and 1 species of birds were introduced and acclimatized, including commercial species (Table 2). Observations have shown their good acclimatization, at present their numbers are high.

Table 2

List of introduced animal species in SNNP “Burabay”

Species	Import year	Region	Number of individuals
Red squirrel (<i>Sciurus vulgaris</i> L.)	1938	Zerenda	362
The muskrat (<i>Ondatra zibethicus</i> L.)	1962	Lake Chagaly, Kokchetav region	389
Argali (<i>Ovis ammon</i>)	1961–1964, 1969	Kyrgyzstan	47
Maral (<i>Cervus elaphus</i>)	1960	Eastern Kazakhstan	6
Ascanian deer	1963–1966	Azov-Sivash farm	58
	1984	Askania-Nova, Ukraine	2
Siberian ibex (<i>Capra sibirica</i>)	1963–1964	Kyrgyzstan	27
Brown bear (<i>Ursus arctos</i>)	1964	Kyrgyzstan	10
Wild boar (<i>Sus scrofa</i>)	1972	Balkhash	24
Western capercaillie (<i>Tetrao urogallus</i>)	1965–1968	Kirov region RSFSR	129

It should be noted that the number of mammals in the park for 2016–2020 have generally increased, for example, the number of weasel (*Mustela nivalis* (L.)), corsac (*Vulpes corsac* (L.)), common fox (*V. vulpes* (L.)) (Figure 1). The number of Baibak (*Marmota bobac*) in comparison with 2016 has increased from 6318 heads to 8415 heads in 2020.

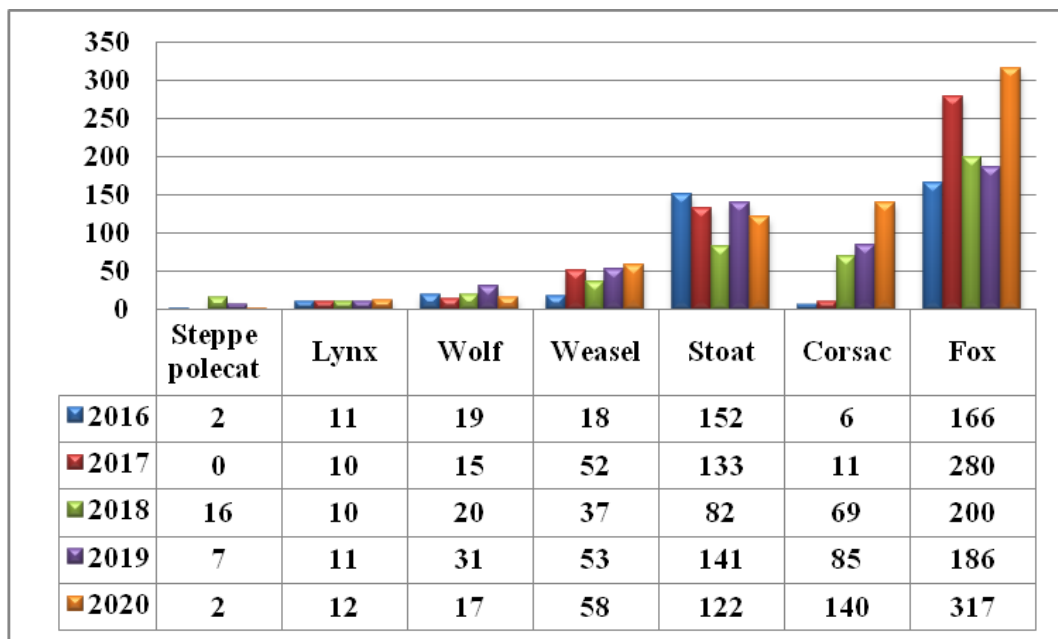


Figure 1. Population dynamics of mammals in SNNP “Burabay” for 2016–2020

From 2016 to 2020 the population of herbivorous has been also increased, including elk (*Alcesalces* (L.)), badger (*Meles meles* (L.)), wild boar (*Sus scrofa*), western capercaillie (*Tetrao urogallus*), brown hare (*Lepus europaeus* (P)), black grouse (*Lyrurus tetrix* (L.)), Maral (*Cervus elaphus*) and Siberian Roe Deer (*Capreolus pygargus* (P)) (Figure 2).

Inhabiting vertebrates in the SNNP “Burabay” differ in life forms; they occupy almost all ecological niches in accordance with their habitat. According to analyses of terrestrial-aquatic vertebrates predominate, terrestrial-arboreal and arboreal ones are often found; meet aerial and aquatics; there are also terrestrial-underground and underground life forms (Figure 3).

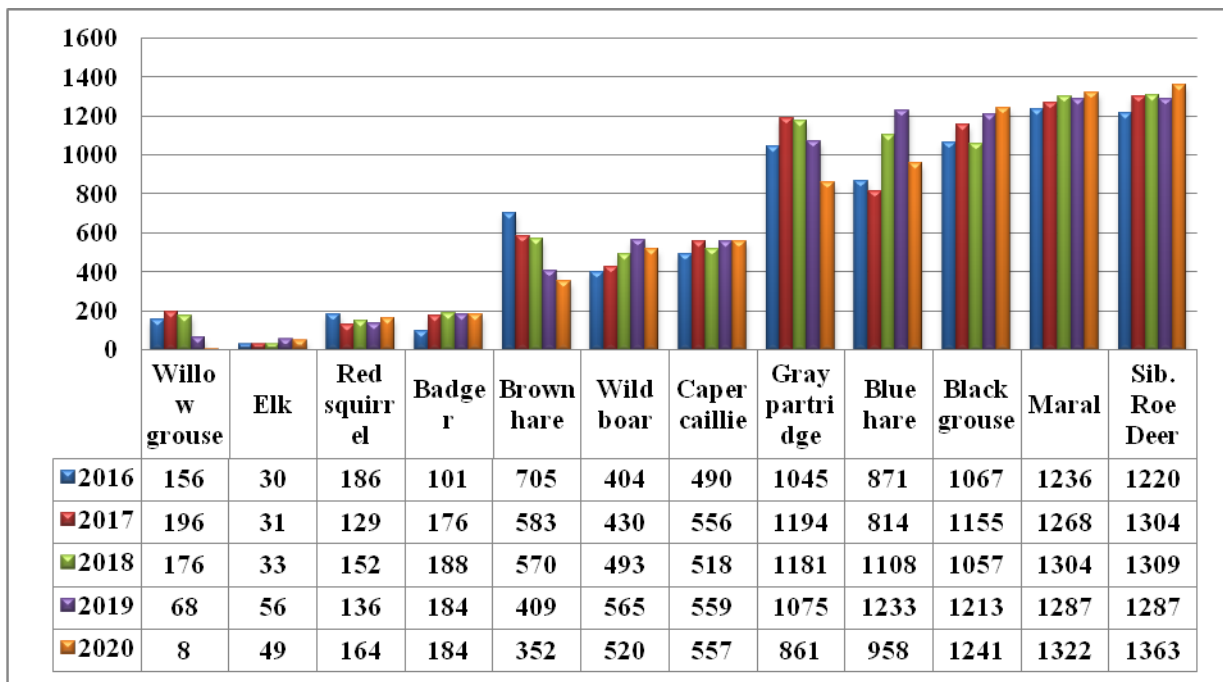


Figure 2. Population dynamics of herbivorous animals in SNNP “Burabay” for 2016–2020

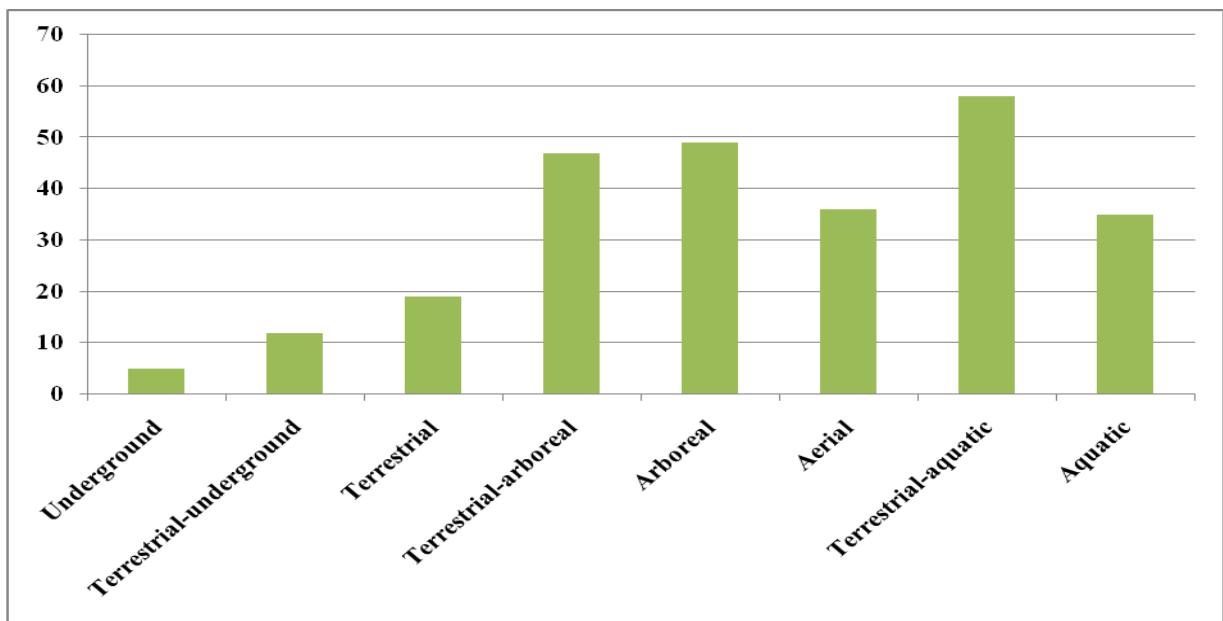


Figure 3. Distribution of animals by life forms on the territory of SNNP “Burabay”

Conclusions

Studies of the animal world have shown that the fauna of the SNNP “Burabay” includes 621 species belonging to 31 orders, including 13 species and subspecies of fish, 3 amphibian species, 7 reptile species, 191 bird species and 47 types of mammals, mainly characteristic to the steppe zone of the Northern Kazakhstan.

The uniqueness of the animal world is in the presence of forest ecosystem, an abundance of species composition, boreal relic animals, unique animal species included in the Red Book of the Republic of Kazakhstan. Vertebrate animals of the national park differ from the fauna of the steppe zone by the abundance of species composition and the high ratio of families, genera and species. From the class of birds, passeriformes predominate, which are represented by 21 families (46.8 %), 36 genera (34.4 %) and

69 species (36.1 %). From the class of mammals — rodentia (30.8 %), which are represented by families (30.8 %), 10 genera (38.5 %) and 19 species (40.4 %). From the class of fish cypriniformes, which is represented by 1 family (25 %), 7 genera (63.6 %) and 8 species (61.5 %). The ratio of family, genus and species was 1:7:8. The highest ratio was found in the orders Anseriformes (1:11:22) and Accipitriformes (1:7:16).

Vertebrate animals of SNNP “Burabay” differ in life forms: the priority are terrestrial-aquatic, arboreal and terrestrial-arboreal, inhabited by 154 species; 71 species inhabit the aerial and aquatic environment; in terrestrial, terrestrial-underground and underground environment 36 species.

Conflict of interest

All authors are familiar with the text of the article and declare that they have no conflict interests.

Acknowledgements

We are grateful to the administration of the SNNP “Burabay” for joint work and support in research work.

References

- 1 Конвенция о биологическом разнообразии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml
- 2 Рустамов А.К. Основы экологии и охрана окружающей среды: учеб. / А.К. Рустамов, А.Г. Банников. — М.: Дрофа, 1999. — 281 с.
- 3 Постановление Кабинета Министров Республики Казахстан от 19 августа 1994 г. № 918. Об одобрении Республикой Казахстан Конвенции о биологическом разнообразии и организации выполнения предусмотренных ею обязательств [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/? doc_id=1004349
- 4 Экологический кодекс РК от 02.01.2021 г. № 400-VI ЗПК [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/? doc_id=39768520
- 5 Закон Республики Казахстан от 09.07.2004 г. № 593 «Об охране, воспроизводстве и использовании животного мира» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/? doc_id=1049332
- 6 Закон Республики Казахстан от 07.07.2006 г. № 175 «Об особо охраняемых природных территориях» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/? doc_id=30063141
- 7 Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2019 год // Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. — Астана, 2019. — 98 с.
- 8 Красная Книга Казахстана. — Т. 1. Ч. 1. — Алматы, 1996. — 327 с.
- 9 Постановление Правительства Республики Казахстан от 31.10.2006 г. № 1034 «Об утверждении Перечней редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/? doc_id=30075757
- 10 Исаченко Т.И. Основные зональные типы степей Северного Казахстана / Т.И. Исаченко, Е.И. Рачковская // Тр. БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. — 1961. — Вып. 13. — С. 133–397.
- 11 Рачковская Е.И. Опустыненные полынно-дерновинно злаковые степи Центрального Казахстана / Е.И. Рачковская // Растительность России. — 2016. — № 28. — С. 108–124.
- 12 Буланов С.А. Урал, Центральный Казахстан, Средняя Азия / С.А. Буланов, С.К. Горелов // Геоморфологические режимы Евразии. — М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. — С. 172–203.
- 13 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.udp-rk.kz/ru/organizations/45471/>
- 14 Мемешев С.К. Почвы Государственного национального природного парка «Бурабай»: моногр. / С.К. Мемешев, А.Т. Хусаинов, З.Д. Саттыбаева, Ш.Н. Дурмекбаева, С.И. Сериков. — Кокшетау: Мир печати, 2019. — 192 с.
- 15 Летопись Государственного национального природного парка «Бурабай». — Щучинск, 2020. — 150 с.

А.Т. Хусаинов, К.М. Шулембаева, Е. Архипов,
И.Б. Фахруденова, Ш.Н. Дурмекбаева

«Бурабай» Мемлекеттік ұлттық табиғи саябағындағы омыртқалы жануарлардың қауымдастық құрамы мен популяциясының динамикасы

Мақалада «Бурабай» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі омыртқалы жануарлардың түрлік құрамы мен оның 2016–2020 жылдардағы динамикасына жүргізілген талдау нәтижелері келтірілген, яғни ерекше қорғалатын табиғи аумақтардың экологиялық желісінің базалық құрамдас бөлігі ретінде, табиғатты сақтау мен қалпына келтіруді қамтамасыз ететін биологиялық әртүрлілік, типтік және бірегей ландшафттар. Омыртқалы жануарларды зерттеу сынақ алаңдарында жануарларды есепке ала отырып, маршруттық әдіспен жүргізілді. Тұяқты жануарларды, жыртқыштарды, кеміргіштерді және тауықтарды есепке алу үшін қоршау, айдау әдісі, сонымен қатар фототүсірілім қолданылған. А.Н.Формазовтың морфологиясы бойынша жануарлардың тіршілік формалары топтастырылған. Саябақтың түрлік құрамының типтік сипаты далалық аймаққа тән сипатты қауымдастықтардың болуымен расталады. Омыртқалы жануарлардың түрлік құрамының бірегейлігі мынада: орман экожүйесіне тән түрлердің болуы; бореалдық реликті жануарлар; Қазақстанның Қызыл кітабына енген жануарлар түрлері және түрлердің әртүрлілігі.

Кілт сөздер: саябақ, дала, омыртқалылар, жануарлар, типтік, бірегейлік, түрлері, динамикасы.

А.Т. Хусаинов, К.М. Шулембаева, Е. Архипов,
И.Б. Фахруденова, Ш.Н. Дурмекбаева

Состав сообществ и динамика численности позвоночных животных в Государственном национальном природном парке «Бурабай»

В статье приведены результаты анализа видового состава позвоночных животных Государственного национального природного парка «Бурабай» и его динамики за 2016–2020 гг., как базового компонента экологической сети особо охраняемых природных территорий, обеспечивающего сохранение и восстановление биологического разнообразия, как типичных, так и уникальных ландшафтов. Изучение позвоночных животных проводилось маршрутным методом, учетом животных на пробных площадках. Для учета копытных, хищных, грызунов и куриных окладной использовались прогонный метод, а также фотосъемки. Жизненные формы животных группировались по морфологии А.Н.Формазова. Типичность видового состава парка подтверждена присутствием характерных сообществ, присущих степной зоне. Уникальность видового состава позвоночных животных заключается в наличии видов, характерных для лесной экосистемы; бореальных реликтовых животных; видов животных, занесенных в Красную книгу Казахстана; и видовым многообразием.

Ключевые слова: парк, степь, позвоночные, животные, типичность, уникальность, виды, динамика.

References

- 1 *Konventsiiia o biologicheskoi raznoobrazii [Convention on Biological Diversity]*. Retrieved from https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml [in Russian].
- 2 Rustamov, A.K., & Bannikov, A.G. (1999). *Osnovy ekologii i okhrana okruzhaiushchei sredy: uchebnik [Basics of ecology and environmental protection: textbook]*. Moscow: Drofa [in Russian].
- 3 *Postanovlenie Kabineta Ministrov Respubliki Kazakhstan ot 19 avgusta 1994 goda № 918. Ob odobrenii Respublikoi Kazakhstan Konventsii o biologicheskoi raznoobrazii i organizatsii vypolneniia predusmotrennykh eiu obiazatelstv [Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Kazakhstan of August 19, 1994 No. 918. On the approval by the Republic of Kazakhstan of the Convention on Biological Diversity and the organization of the fulfillment of its obligations]*. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1004349 [in Russian].
- 4 *Ekologicheskii kodeks RK ot 02.01.2021 goda № 400–VI 3RK [Ecological Code of the Republic of Kazakhstan of 02.01.2021 No. 400-VI 3PK]*. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39768520 [in Russian].
- 5 *Zakon Respubliki Kazakhstan ot 09.07.2004 goda № 593 «Ob okhrane, vosproizvodstve i ispolzovanii zhivotnogo mira» [Law of the Republic of Kazakhstan of 09.07.2004 No. 593 “On the Protection, Reproduction and Use of Wildlife”]*. Electronic resource. Regime of access: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1049332 [in Russian].
- 6 *Zakon Respubliki Kazakhstan ot 07.07.2006 goda № 175 «Ob osobo okhraniaemykh prirodnnykh territoriiakh» [Law of the Republic of Kazakhstan of 07.07.2006 No. 175 “On Specially Protected Natural Areas”]*. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30063141 [in Russian].

- 7 Natsionalnyi doklad o sostoianii okruzhaiushchei sredy i ob ispolzovanii prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2019 god [National Report on the State of the Environment and the Use of Natural Resources of the Republic of Kazakhstan for 2019]. *Ministerstvo ekologii, geologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan — Ministry of ecology, geology and natural resources of Republic of Kazakhstan*. Astana [in Russian].
- 8 (1996). *Krasnaia Kniga Kazakhstana. Tom 1, Chast 1 [Red Book of Kazakhstan. Vol. 1, Part 1]*. Almaty [in Russian].
- 9 *Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 31.10.2006 goda. № 1034 «Ob utverzhdenii Perechnei redkikh i nakhodiashchikhsia pod ugrozoi ischeznoventia vidov rastenii i zhivotnykh» [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan of 31.10.2006 No. 1034 “On Approval of Lists of Rare and Endangered Species of Plants and Animals”]*. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30075757 [in Russian].
- 10 Isachenko, T.I., & Rachkovskaia, E.I. (1961). Osnovnye zonalnye tipy stepei Severnogo Kazakhstana [Basic zonal types of steppe of South Kazakhstan]. *Trudy Botanicheskogo instituta Akademii nauk SSSR. Seriya 3. Geobotanika — Works of Botanical Institute, Series 3. Geobotany, 13*; 133–397 [in Russian].
- 11 Rachkovskaia, E.I. (2016). Opustynennye polynno-dernovinno zlakovye stepi Tsentralnogo Kazakhstana [Deserted wormwood-turf cereal steppes of Central Kazakhstan]. *Rastitelnost Rossii — Vegetation of Russia, 28*; 108–124 [in Russian].
- 12 Bulanov, S.A., & Gorelov, S.K. (2006). Ural, Tsentralnyi Kazakhstan, Sredniaia Aziia [Ural, Central Kazakhstan, Middle Asia]. *Geomorfologicheskie rezhimy Evrazii — Geomorphological regime of Eurasia*. Moscow: Media-PRESS; 172–203 [in Russian].
- 13 Retrieved from <https://www.udp-rk.kz/ru/organizations/45471/>
- 14 Memeshev, S.K., Khusainov, A.T., Sattybaeva, Z.D., Durmekbaeva, Sh.N., & Serikov, S.I. (2019). *Pochvy Gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka «Burabai»: Monografiia [Soils of State National Natural Park “Burabai”. Monograph]*. Kokshetau: Mir pechati [in Russian].
- 15 (2020). *Letopis Gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka «Burabai» [Chronicle of the State National Natural Park “Burabai”]*. Shchuchinsk [in Russian].

С.А. Кубентаев^{1, 2, 3*}, А.Е. Хасенова², А.А. Иманбаева², Д.Т. Алибеков^{2, 3}

¹Национальный центр биотехнологии, Нур-Султан, Казахстан;

²Мангышлакский экспериментальный ботанический сад, Актау, Казахстан;

³Астанинский ботанический сад — филиал Института ботаники и фитointroduкции, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: kubserik@mail.ru

Морфология семян редких и эндемичных растений Казахстана

В статье приведены результаты изучения морфометрических параметров и весовых показателей семян 18 видов редких и эндемичных растений, занесенных в Красную книгу Казахстана: *Adonis vernalis*, *A. volgensis*, *Astragalus glycyphyllos*, *Crataegus ambigua*, *Drosera rotundifolia*, *Fraxinus sogdiana*, *Lilium martagon*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Incarvillea semiretschenskia*, *Paeonia anomala*, *P. intermedia*, *Rhodiola rosea*, *Leuzea carthamoides*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. patens*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*, в том числе 6 субэндемичных вида (*Crataegus ambigua*, *Fraxinus sogdiana*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*) и один узколокальный эндемик (*Incarvillea semiretschenskia*). Характеристики формы, текстуры семенной кожуры и цвета семян исследованных образцов в основном сходны с изученными ранее. Были обнаружены существенные отличия в размерах и в весе 1000 семян от ранее опубликованных данных, что, на наш взгляд, отражают изменчивость признаков, которые следует учитывать при идентификации видов.

Ключевые слова: редкие растения, эндемичные виды, морфология семян, Казахстан., форма и текстура семенной кожуры.

Введение

Изучение морфологии семян имеет важное значение для решения проблем систематики растений [1–3]. Скульптура поверхности, окраска и форма семян являются значимыми признаками для видовой диагностики семенных растений. В Казахстане проводится очень мало исследований по изучению морфологии и качества семян [4–7], которые ограничиваются одним или несколькими видами растений.

На территории Республики Казахстан зарегистрировано 5658 видов сосудистых растений [8]. Особый интерес для изучения биоморфологии видов представляют редкие и эндемичные растения. Так, во флоре Казахстана отмечено 760 видов эндемичных растений [9–11] и 387 видов занесено в Красную книгу Казахстана [12].

Основной целью настоящей работы было изучение морфологических особенностей некоторых видов редких и эндемичных растений, произрастающих на территории Казахстана.

Материалы и методы

Материалом для данного исследования послужили образцы семян 18 видов редких (занесенных в Красную книгу Казахстана [12]) и эндемичных растений, собранных на территории Казахстана в 2021 году. Экспедиционные выезды по сбору семян осуществлялись маршрутно-рекогносцировочным методом. Были изучены качественные признаки (форма, цвет, поверхность и скульптура семенной кожуры) и количественные (ширина, длина, вес 1000 семян) показатели семян. Цветовая палитра семян определяется на основе цветовой шкалы Английского Королевского общества цветоводов [http://traditio-ru.org/wiki/\(RHS_Colour_Chart\)](http://traditio-ru.org/wiki/(RHS_Colour_Chart)).

Размеры семян (длина, ширина) исследовали с помощью микрометра МК-25. Вес 1000 семян определяли с помощью электронных лабораторных весов CAS XE-300. Номенклатурные названия видов приведены в соответствии Международной базой POWO [13]. Категория редкости и статус вида указаны в соответствии с The IUCN Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org) и Красной книги Казахстана [12].

Статистический анализ данных выполнен по методике Г.Н. Зайцева [14].

Результаты и обсуждения

В результате проведенных исследований изучены морфологические особенности 18 видов редких и эндемичных растений Казахстана. Авторы приводят описания семян следующих видов растений — *Adonis vernalis* L., *A. volgensis* Steven ex DC., *Astragalus glycyphyllos* L., *Crataegus ambigua* C.A. Mey. Ex A.K. Becker, *Drosera rotundifolia* L., *Fraxinus sogdiana* Bunge, *Lilium martagon* L., *Malacocarpus crithmifolius* (Retz.) C.A. Mey., *Incarvillea semiretschenskia* (B. Fedtsch.) Grierson, *Paeonia anomala* L., *P. intermedia* C.A. Mey. Ex Ledeb., *Rhodiola rosea* L., *Leuzea carthamoides* (Willd.) DC., *Tulipa kolpakowskiana* Regel, *T. patens* C. Agardh ex Schult. & Schult. f., *T. suaveolens* Roth, *T. urumiensis* Stapf., среди которых 6 субэндемичных видов: *Crataegus ambigua*, *Fraxinus sogdiana*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis* и один узколокальный эндемик — *Incarvillea semiretschenskia*. Ниже приводятся характеристики изученных образцов. Биометрические показатели семян редких растений Казахстана приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Биометрические показатели семян редких растений Казахстана

№	Название растения	Длина семени, мм	Ширина семени, мм	Вес 1000 штук семян, г
1	<i>Adonis vernalis</i>	4,24 ± 1,32	3,04 ± 0,17	8,36
2	<i>A. volgensis</i>	3,78 ± 1,14	2,23 ± 0,85	5,65
3	<i>Astragalus glycyphyllos</i>	2,295 ± 0,14	2,132 ± 0,14	4,25
4	<i>Crataegus ambigua</i>	7,48 ± 1,25	6,63 ± 1,87	174,3
5	<i>Drosera rotundifolia</i>	1,08 ± 0,03	0,13 ± 0,01	—
6	<i>Fraxinus sogdiana</i>	11,45 ± 1,23	3,25 ± 0,56	29,16
7	<i>Lilium martagon</i>	6,74 ± 0,58	3,38 ± 0,41	2,07
8	<i>Malacocarpus crithmifolius</i>	2,32 ± 0,32	1,16 ± 0,06	2,01
9	<i>Incarvillea semiretschenskia</i>	5,87 ± 1,65	3,21 ± 0,89	5,68
10	<i>Paeonia anomala</i>	7,06 ± 0,17	5,58 ± 0,36	83,9
11	<i>P. intermedia</i>	7,01 ± 0,14	3,65 ± 0,14	55,36
12	<i>Pulsatilla patens</i>	7,11 ± 0,12	0,98 ± 0,04	3,78
13	<i>Rhodiola rosea</i>	1,95 ± 0,85	0,58 ± 0,04	0,26
14	<i>Leuzea carthamoides</i>	6,83 ± 0,44	2,82 ± 0,28	14,9
15	<i>Tulipa kolpakowskiana</i>	4,26 ± 0,56	3,08 ± 0,14	3,02
16	<i>T. patens</i>	4,13 ± 0,56	3,45 ± 0,16	4,36
17	<i>T. suaveolens</i>	4,29 ± 0,65	3,20 ± 0,12	2,01
18	<i>Tulipa urumiensis</i>	5,45 ± 1,82	4,32 ± 0,95	5,24

Adonis vernalis L. — адонис весенний (сем. *Ranunculaceae* Juss.). Категория редкости — **II**, редкий вид [12]. Степень редкости — **LC** [15]. Место происхождения образца: Акмолинская область, Бурабайский район, окр. с. Бурабай, Национальный парк «Бурабай», лесничество Мирное. Координаты: 53°03'09,5"N, 70°29'53,8"E. Семянки шаровидно-обратнойцевидные, сетчато-морщинистые, опушенные, с коротким согнутым крючковатым столбиком (см. рис., А).

Adonis volgensis Steven ex DC. — адонис волжский (сем. *Ranunculaceae* Juss.). Категория редкости — **III**, сокращающийся вид [12]. Место происхождения образца: Акмолинская область, Бурабайский район, окр. с. Бурабай, Национальный парк «Бурабай», квартал 96, возле оз. Чебачье. Семянки шаровидно-обратнойцевидные, тонко и неясно морщинистые, опушенные, носик книзу отогнутый, более-менее плотно прижат к семянке (рис., Б).

Astragalus glycyphyllos L. — астрагал солодколистный (сем. *Fabaceae* Lindl.). Категория редкости — **II**, редкий вид [12]. Степень редкости IUCN — **LC** [15]. Место происхождения образца: Восточно-Казахстанская область, Глубоковский район, в окр. с. Черемшанка. Юго-Западный Алтай, хребет Убинский. Координаты: 50°16'16.6"N, 83°07'43.2"E. Семена жёлто-зелёные с едва заметными зеленовато-коричневыми разводами, идущими от области семенного рубчика к спинке. Форма семян сбоку почковидная, овально выполненная, по спинке обычно округлая, у семенного рубчика немного сдавленная; со стороны брюшка овальная. Поверхностный слой семян гладкий, матовый, слабо-блестящий (рис., В).



A — Adonis vernalis; Б — A. volgensis; B — Astragalus glycyphyllos; Г — Crataegus ambigua; Д — Fraxinus sogdiana; E — Lilium martagon; Ж — Malacocarpus crithmifolius; З — Incarvillea semiretschenskia; И — Paeonia anomala; К — P. intermedia; Л — Pulsatilla patens; М — Leuzea carthamoides; Н — Tulipa patens; О — T. urumiensis; П — Tulipa suaveolens (масштаб шкалы: 1 см)

Рисунок. Фотоиллюстрации семян редких растений Казахстана

Crataegus ambigua С.А. Мей. ex А.К. Becker — боярышник сомнительный (сем. *Rosaceae* Juss.). Субэндем. Категория редкости — **II**, редкий вид, встречающийся в небольшом количестве на ограниченной территории; может исчезнуть при неблагоприятных изменениях среды произрастания [12]. Степень редкости IUCN — **DD** [15]. Место происхождения образца: г. Актау, РГП «Мангышлакский экспериментальный ботанический сад» Координаты: 43°39'03,0"N, 51°09'36,4"E. Плоды шаровидные или широко-эллиптические, 11–14 мм в диаметре, со светлыми точками, мясистые; косточки в очертании широко-эллиптические, бороздчатые (рис., Г).

Drosera rotundifolia L. — росянка круглолистная (сем. *Droseraceae* Salisb.). Категория редкости — **III**, редкий вид, с сокращающимся ареалом [12]. Степень редкости IUCN — **LC** [15]. Место происхождения образца: Северо-Казахстанская область, Аиртауский район, в окр. с. Лобаново, на территории ГНПП «Кокшетау», в Шалкарском лесничестве. Координаты: 53°06'38"N, 68°27'28"E. Семена мелкие, веретеновидные, светло бурые, почти гладкие. По причине крайне малого размера семян не проведено измерение массы 1000 семян.

Fraxinus sogdiana Bunge — ясень согдийский (сем. *Oleaceae* Hoffmanns. & Link). Субэндем. Категория редкости — **III**, редкий вид [12]. Степень редкости IUCN — **LC** [15]. Место происхождения образца: г. Актау, РГП «Мангышлакский экспериментальный ботанический сад». Координаты: 43°39'03.0"N, 51°09'36.4"E. Крылатка ланцетная, у основания перекрученная, орешек короче длины крылатки, эллиптический, коричневый (рис., Д).

Lilium martagon L. — лилия кудреватая (сем. *Liliaceae* Juss.). Категория редкости — **II**, редкий вид [12]. Степень редкости IUCN — **LC** [15]. Место происхождения образца: Северо-Казахстанская область, Кызылжарский район, овраг между пос. Барневка и Гончаровка по дороге Петропавловск–Долматово. Координаты: 55°11'17.66" N, 69°26' 21.09" E. Семена крупные, овально-скошенные, желтовато-бурые, зародыш неясно заметен, окраина семян около 1 мм (рис., Е).

Malacocarpus crithmifolius (Retz.) C.A. Mey. — мякоплодник критмолистный (сем. *Nitrariaceae* Lindl.). Субэндем. Категория редкости — **I**, редкий вид, может исчезнуть при неблагоприятных изменениях среды произрастания [12]. Степень редкости IUCN — **DD** [15]. Место происхождения образца: г. Актау, РГП «Мангышлакский экспериментальный ботанический сад». Координаты: 43°39'03.0"N, 51°09'36.4"E. Плод — округлая трехгнездая ягода 6–10 мм дл., семена яйцевидные, 2 мм дл., светлокорицевого цвета (рис. 1, Ж).

Incarvillea semiretschenskia (B.Fedtsch.) Grierson (= *Niedzwedzkia semiretschenskia* B. Fedtsch) — недзвецкия семиреченская (сем. *Bignoniaceae* Juss.). Эндем. Категория редкости — **III**, сокращающийся в численности вид [12]. Место происхождения образца: Алматинская область, Сайрамский район, Чу-Илийские горы, между с. Карабастау и ст. Копа, пологий каменистый склон. Координаты: 43°32'38,5" N, 75°44'57.8" E. Коробочка жесткая, кожистая, с пятью крылатыми продольными ребрами, неравномерно притупленно-зубчатыми по краю; семена яйцевидные, 6–7 мм дл., плоскосжатые, усаженные мелкими сосочками, морщинисто-мелкобугорчатые. с срединным зародышем, окруженным тонким слоем питательной ткани (рис., З).

Paeonia anomala L. — пион уклоняющийся (сем. *Paeoniaceae* Raf.). Категория редкости — **IV**, неопределенный вид [12]. Место происхождения образца: Восточно-Казахстанская область, Уланский район, в 10 км к юго-востоку от с. Асубулак, Калбинский хребет. Коорд.: 49°31'38,3"N, 83°05'16,4"E. Семена крупные, округлые. Форма семян яйцевидная, иногда бочковидная, с вмятостью в боковой части. Поверхность семян голая, гладкая. Цвет семян бордово-черный (рис., И).

Paeonia intermedia C.A. Mey. ex Ledeb. (= *Paeonia hybrida* Pall.) — пион степной (сем. *Paeoniaceae* Raf.). Субэндем. Категория редкости — **III**, редкий вид, с сокращающимся ареалом [12]. Место происхождения образца: Алматинская область, Кербулакский р-н; горы Шолак, степной склон. Координаты: 43°55'40.93" N, 77°51'3.25" E. Семена крупные, яйцевидные, с рубчиком темно-коричневые, окраска поверхности семян неоднородная, блестящая (рис., К).

Pulsatilla patens (L.) Mill. — прострел раскрытый (сем. *Ranunculaceae* Juss.). Категория редкости — **III**, редкий вид, с сокращающимся ареалом [12]. Степень редкости IUCN — **DD** [15]. Место происхождения образца: Акмолинская область, Зерендинский район, в окрестности с. Карсак, на территории ГНПП «Кокшетау», филиал Орманды булак, кв. № 6. Координаты: 52°56'42,1" N, 68°46'32,0" E. Семена крупные, удлиненные, с щетиновидным носиком. Поверхность семян гладкая, покрыта светлыми волосками. Семенной рубчик маленький, выступающий, находится в основании семени. Цвет семян темно-серый (рис., Л).

Rhodiola rosea L. — родиола розовая (сем. *Crassulaceae* J.St. -Hil.). Категория редкости — **III**, сокращающийся в численности вид [12]. Степень редкости IUCN — **LC** [15]. Место происхождения образца: Восточно-Казахстанская область, Риддерский район, хребет Ивановский, Проходной белок, в окрестности г. Риддер. Координаты: 50°15'10.3" N, 83°31'31.8" E. Семена мелкие, продолговатые. Форма семян искривленно-кеглевидная. Поверхность семян голая, продольно-морщинистая. Цвет семян темно-коричневый.

Leuzea carthamoides (Willd.) DC. (= *Stemmacantha carthamoides* (Willd.) M. Dittrich) — рапонтникум сафлоровый (сем. *Asteraceae* Bercht. & J.Presl.). Категория редкости — **III**, сокращающийся в

численности вид [12]. Место происхождения образца: Восточно-Казахстанская область, Риддерский район, хр. Ивановский, верховья р. Б. Поперечка. Координаты: N 49°05'43", E 86°13'57". Форма семян узко-яйцевидная, сплюснутая, носик округло-заостренный. Поверхность неясно-ребристая, твердая, гладкая, блестящая (рис., М).

Tulip kolpakowskiana Regel — тюльпан Колпаковского (сем. *Liliaceae* Juss.). Субэндем. Категория редкости — **III**, редкий вид, с сильно сокращающейся численностью [12]. Место происхождения образца: Алматинская область, Чолак, отроги Жетысуйского (Джунгарского) Алатау, возле водохр. Капчагай. Координаты: 48°54'05.5" N, 78°09'31.2" E. Семена среднего размера, эллипсоидно-косотреугольные, плоские, светло-коричневого цвета. Поверхность матового цвета. Зародыш довольно хорошо виден, почти без окраины.

Tulipa patens C. Agardh ex Schult. & Schult. f. — тюльпан поникающий (сем. *Liliaceae* Juss.). Категория редкости — **III**, редкий, сокращающийся в численности, вид [12]. Место происхождения образца: Карагандинская область, Осакаровский район, окр. с. Солоничка, Казахский мелкосопочник. Координаты: 50°02'11.3" N, 73°12'02.1" E. Семена среднего размера, округло-косотреугольные, светло-коричневого цвета, плоские. Поверхность матовая. Зародыш довольно хорошо виден, почти без окраины (рис., Н).

Tulipa urumiensis Stapf (*Tulipa tarda* Stapf) — тюльпан поздний (сем. *Liliaceae* Juss.). Субэндем. Категория редкости — **II**, редкий вид [12]. Место происхождения образца: г. Нур-Султан, Астанинский ботанический сад. Координаты: 51°06'49" N, 60°17'07" E. Семена среднего размера, округлотреугольные, острые в конце, где лежит зародыш, с почти незаметной каймой и зародышем, плоские (рис., О).

Tulipa suaveolens Roth (= *Tulipa schrenkii* Regel) — тюльпан Шренка (сем. *Liliaceae* Juss.). Субэндем. Категория редкости — **III**, сокращающийся в численности вид [12]. Место происхождения образца: Актюбинская область, вдоль дороги Иргиз-Шалкар, 80 км к западу от гор Богембай. Координаты: 48°13'49" N, 60°17'07" E. Семена среднего размера, округло-косотреугольные, светло-коричневого цвета, плоские. Поверхность матовая. Зародыш довольно хорошо виден, почти без окраины (рис., П).

Заключение

Характеристики формы, текстуры семенной кожуры и цвета семян исследованных образцов в основном сходны с изученными ранее. Были обнаружены существенные отличия в размерах и в весе 1000 семян от ранее опубликованных данных, что, на наш взгляд, отражают изменчивость признаков, которые следует учитывать при идентификации видов.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РК (программа ИРН OR11465422 «Создание биобанка редких и исчезающих видов флоры и фауны Казахстана для сохранения биоразнообразия» и программа ИРН: OR11465458 «Разработка научно-практических основ и инновационных подходов интродукции растений в природных зонах Западного и Восточного Казахстана для рационального и эффективного использования на 2021–2022 гг.»).

Список литературы

- 1 Алексеева Н.Б. Некоторые особенности морфологии семян дальневосточных видов рода *Iris* (*Iridaceae*) / Н.Б. Алексеева, Е.В. Болтенков, Л.Н. Миронова // Бот. журн. — 2011. — Т. 96, № 7. — С. 851–857.
- 2 Gontcharova S.B. Seed surface morphology in some representatives of the genus *Rhodiola* sect. *Rhodiola* (*Crassulaceae*) in the Russian Far East / S.B. Gontcharova, A.A. Gontcharov, V.V. Yakubov // Flora. — 2009. — Vol. 204. — P. 17–24.
- 3 Wang Y.-G. A systematic study of the genus *Rhododendron* (*Ericaceae*) using micromorphological characters of fruit surface and seed coat / Y.-G. Wang, G.-Z. Li, W.-J. Zhang, J. You, J.-K. Chen // Acta Phytotaxonomica Sinica. — 2007. — Vol. 45, No. 1. — P. 21–38.
- 4 Ishmuratova M.Yu. Study of peculiarities of morphology and germination of seeds of *Scabiosa ochroleuca* from the Central Kazakhstan / M. Yu. Ishmuratova, S.S. Tyrzhanova // Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography series. — 2020. — No. 3 (99). — P. 75–82.
- 5 Mursaliyeva V. Seed germination of *Allochrysa gypsophiloides* (*Caryophyllaceae*), an endemic species from Central Asia and Kazakhstan / V. Mursaliyeva, R. Parkhatova, A. Imanbayeva // Seed Science and Technology. — 2020. — Vol. 48, No. 2. — P. 289–295.

- 6 Sumembayev A.A. The comparative morphometric analysis of seeds representatives of the genus *Paonia* L. (*Paoniaceae* Rudolphi) of the Kazakh Altai's Flora, introduced in the Altai Botanical Garden / A.A. Sumembayev, A.N. Danilova // Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography series. — 2021. — No. 1 (101). — P. 58–66.
- 7 Volk G.M. Seeds capture the diversity of genetic resource collections of *Malus sieversii* maintained in an orchard / G.M. Volk, A.D. Henk, P.L. Forsline, A.K. Szewc-McFadden, G. Fazio, H. Aldwinckle, C.M. Richards // Genet Resour Crop Evol. — 2017. — Vol. 64. — P. 1513–1528. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0450-8>
- 8 Абдулина С.А. Список сосудистых растений Казахстана / С.А. Абдулина. — Алматы: Стека, 1999. — 185 с.
- 9 Голоскоков В.П. Особенности видового эндемизма во флоре Казахстана (материалы к анализу «Флоры Казахстана», 1) / В.П. Голоскоков // Ботанические материалы гербария Института ботаники АН КазССР. — 1969. — Вып. 6. — С. 3–12.
- 10 Быков Б.А. К количественной оценке эндемизма / Б.А. Быков // Ботанические материалы гербария Института ботаники АН КазССР. — 1979. — Вып. 11. — С. 3–8.
- 11 Михеева Н.И. Ареалы эндемичных и редких степных видов Алтая / Н.И. Михеева // Ботанические материалы гербария Института ботаники АН КазССР. — 1979. — Вып. 11. — С. 22–38.
- 12 Красная книга Казахстана. — Т. 2. Растения. — Астана: ТОО «АртPrintXXI», 2014. — 452 с.
- 13 POWO. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. — 2022. Retrieved from <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- 14 Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. — М., 1990. — 296 с.
- 15 The IUCN Red List of Threatened Species. 2011. Retrieved from <https://www.iucnredlist.org>

С.А. Кубентаев, А.Е. Хасенова, А.А. Иманбаева, Д.Т. Алибеков

Қазақстанның сирек кездесетін және эндемикалық өсімдіктерінің кейбір түрлерінің тұқымдарының морфологиясы

Мақалада Қазақстанның Қызыл кітабына енгізілген сирек кездесетін және эндемикалық өсімдіктердің 18 түрінің тұқымдарының морфометриялық параметрлерімен салмақтық көрсеткіштерін зерттеу нәтижелері келтірілген, олар: *Adonis vernalis*, *A. volgensis*, *Astragalus glycyphyllos*, *Crataegus ambigua*, *Drosera rotundifolia*, *Fraxinus sogdiana*, *Lilium martagon*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Incarvillea semiretschenskia*, *Paonia anomala*, *P. intermedia*, *Rhodiola rosea*, *Leuzea carthamoides*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. patens*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*, оның ішінде 6 субэндемиялық түрлер (*Crataegus ambigua*, *Fraxinus sogdiana*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*) және бір тарталшықты эндемик (*Incarvillea semiretschenskia*). Пішіннің сипаттамасы, тұқым қабығының құрылымы және тұқымның түсі, зерттелген үлгілер негізінен бұрынғы зерттелген үлгілерге ұқсас. Бұрын жарияланған мәліметтерден 1000 тұқымның мөлшерімен салмағы бойынша айтарлықтай айырмашылықтар анықталды, бұл біздің ойымызша түрлерді анықтау кезінде ескерілуі керек белгілердің өзгерістігін көрсетеді.

Кілт сөздер: сирек өсімдіктер, эндемикалық түрлер, тұқым морфологиясы, Қазақстан, пішін және тұқым қабығының бітімі.

S.A. Kubentayev, A.E. Khasenova, A.A. Imanbayeva, D.T. Alibekov

Morphology of seeds of some species of rare and endemic plants of Kazakhstan

The article presents the results of the study of morphometric parameters and weight indicators of seeds of 18 species of rare and endemic plants listed in the Red Book of Kazakhstan: *Adonis vernalis*, *A. volgensis*, *Astragalus glycyphyllos*, *Crataegus ambigua*, *Drosera rotundifolia*, *Fraxinus sogdiana*, *Lilium martagon*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Incarvillea semiretschenskia*, *Paonia anomala*, *P. intermedia*, *Rhodiola rosea*, *Leuzea carthamoides*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. patens*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*, including 6 sub-endemic species (*Crataegus ambigua*, *Fraxinus sogdiana*, *Malacocarpus crithmifolius*, *Tulipa kolpakowskiana*, *T. suaveolens*, *T. urumiensis*) and one narrow-localised endemic (*Incarvillea semiretschenskia*). The characteristics of the shape, texture of the seed peel and the color of the seeds of the studied samples are similar to those studied earlier. Significant differences were found in the size and weight of 1000 seeds from previously published data, which, in our opinion, reflect the variability of traits that should be considered when identifying species.

Keywords: rare plants, endemic species, seed morphology, Kazakhstan.

References

- 1 Alekseeva, N.B., Boltenev, E.V., & Mironova, L.N. (2011). Nekotorye osobennosti morfologii semian dalnevostochnykh vidov roda *Iris* (*Iridaceae*) [Some features of seed morphology of Far Eastern species of the genus *Iris* (*Iridaceae*)]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical Journal*, 96 (7); 851–857 [in Russian].
- 2 Gontcharova, S.B., Gontcharov, A.A., & Yakubov, V.V. (2009). Seed surface morphology in some representatives of the genus *Rhodiola* sect. *Rhodiola* (*Crassulaceae*) in the Russian Far East. *Flora*, 204; 17–24.
- 3 Wang, Y.-G., Li, G.-Z., Zhang, W.-J., You, J., & Chen, J.-K. (2007). A systematic study of the genus *Rhododendron* (*Ericaceae*) using micromorphological characters of fruit surface and seed coat. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 45 (1); 21–38.
- 4 Ishmuratova, M.Yu., & Tyrzhanova, S.S. (2020). Study of peculiarities of morphology and germination of seeds of *Scabiosa ochroleuca* from the central Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*, 3 (99); 75–82.
- 5 Mursaliyeva, V., Parkhatova, R., & Imanbayeva, A. (2020). Seed germination of *Allochrysa gypsophiloides* (*Caryophyllaceae*), an endemic species from Central Asia and Kazakhstan. *Seed Science and Technology*, 48 (2); 289–295.
- 6 Sumembayev, A.A., & Danilova, A.N. (2021). The comparative morphometric analysis of seeds representatives of the genus *Paeonia* L. (*Paeoniaceae* Rudolphi) of the Kazakh Altai's Flora, introduced in the Altai Botanical Garden. *Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*, 1 (101); 58–66.
- 7 Volk, G.M., Henk, A.D., Forsline, P. L., & Szewc-McFadden, A.K., Fazio, G., Aldwinckle, H., & Richards, C.M. (2017).. Seeds capture the diversity of genetic resource collections of *Malus sieversii* maintained in an orchard. *Genet Resour Crop Evol.*, 64; 1513–1528. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0450-8>
- 8 Abdulina, S.A. (1999). *Spisok sosudistykh rastenii Kazakhstana [The lists of vascular plants of Kazakhstan]*. Almaty: Steka [in Russian].
- 9 Goloskokov, V.P. (1969). Osobennosti vidovogo endemizma vo flore Kazakhstana (materialy k analizu «Flory Kazakhstana», 1) [Peculiarities of species endemism in the flora of Kazakhstan (materials for the analysis of Flora of Kazakhstan, 1)]. *Botanicheskie materialy gerbariia Instituta botaniki Akademii nauk Kazakhskoi SSR — Botanical materials of herbarium of Institute of Botany of Academy of Sciences of Kazakh SSR*, 6; 3–12 [in Russian].
- 10 Bykov, B.A. (1979). K kolichestvennoi otsenke endemizma [To the quantitative assessment of endemism]. *Botanicheskie materialy gerbariia Instituta botaniki Akademii nauk Kazakhskoi SSR — Botanical materials of herbarium of Institute of Botany of Academy of Sciences of Kazakh SSR*, 11; 3–8 [in Russian].
- 11 Mikheeva, N.I. (1979). Arealny endemichnykh i redkikh stepnykh vidov Altaia [Areas of endemic and rare steppe species of Altai]. *Botanicheskie materialy gerbariia Instituta botaniki Akademii nauk Kazakhskoi SSR — Botanical materials of herbarium of Institute of Botany of Academy of Sciences of Kazakh SSR*, 11; 22–38 [in Russian].
- 12 (2014). *Krasnaia kniga Kazakhstana. — Tom 2. Rasteniia [Red book of Kazakhstan. Vol. 2. Plants]*. Astana: ArtPrintXXI Ltd [in Russian].
- 13 POWO (2022). *Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew*. <http://www.plantsoftheworldonline.org/> Retrieved
- 14 Zaitsev, G.N. (1990). *Matematika v eksperimentalnoi botanike [Mathematics in experimental botany]*. Moscow [in Russian].
- 15 *The IUCN Red List of Threatened Species (2011)*. <https://www.iucnredlist.org>

А.А. Кулаипбекова*, А.Ч. Каташева, А.Ж. Жеңісова, Ә.У. Байбекова

Алматы технологиялық университеті, Қазақстан
**Хат-хабарларға арналған автор: ak04erke22@gmail.com*

***Aspergillus niger* L-4 штамымен ашыту кезінде инвертаза биосинтезін зерттеу**

Азық-түлік өнімдерінде ферменттерді немесе микроорганизмдерді пайдалану ұзақ уақыт бойы жалғасатын процесс. Технологияның жетістіктерімен қолданудың кең ауқымымен ерекшеліктері бар жаңа ферменттер жасалды және жаңа қолданбалар әлі де зерттелуде. Бактериялар, ашытқылар және микромицеттер сияқты микроорганизмдер және олардың ферменттері тағамдық препараттарда дәмімен құрылымын жақсарту үшін кеңінен қолданылады және олар өнеркәсіпке экономикалық пайда әкеледі. Микробтық ферменттердің өндірісі қарапайымдылық, үнемділік және тұрақтылық сияқты артықшылықтарға ие. Ферменттерді зерттеу ерекше қызығушылық тудырады, өйткені ферменттік препараттар әртүрлі салаларда, ауыл шаруашылығында, медицинада және гендік инженерияда кеңінен пайдаланылады. Биокатализатор ретінде микробтық текті ферменттер процесті бейорганикалық катализаторларға қарағанда жоғары жылдамдықпен жүреді. Мақалада лимон қышқылын өндіруші *Aspergillus niger* L-4 микромицет штамының ұнтақталған қарабидай дәнінің гидролизатынан тұратын коректі қорда өсіргенде инвертаза ферментін синтездеу қабілеті талқыланады. Инвертаза биосинтезін зерттеу негізінде ұнтақталған қара бидай дәнін гидролиздеудің ең қолайлы және үнемді нұсқасы ферментті препараттардың дозаларын қолдану екені анықталды: Целловиридин — 4 ед/г, Амилосубтилин — 2 ед/г және β-глюканаза — 3 ед/г. Бұл жағдайларда еритін көмірсулардың мөлшері (%) құрады: DU — 43,7 ± 3,4, глюкоза — 16,8 ± 1,3, мальтоза — 76,8 ± 3,8, декстриндер — 6,4 ± 0,5 және қышқылдың мөлшері β-глюканаза жоқ нұсқаға қарағанда жоғары.

Кілт сөздер: биосинтез, фермент, инвертаза, лимон қышқылы, қара бидай дәнін ұнтақтау, *Aspergillus niger*, ашыту, микромицеттер.

Kipicne

Қазіргі уақытта инвертаза ферменті ТМД елдерінде өндірілмейді. Қазақстан нарығы бұл ферменттің едәуір бөлігін шетелден сатып алады [1–5]. Әдеби деректерге сәйкес инвертазаның өнеркәсіптік препараттарын өндіру үшін *Aspergillus* және *Renicilla* ашытқы штамдары шетелде қолданылады [6–10]. Демек, лимон қышқылын өндіруші *Aspergillus niger* микромицетін пайдалану отандық өндірушілердің мүмкіндіктерін кеңейтеді деген қорытынды жасауға болады [11–13].

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты ұнтақталған қара бидай дәнінің гидролизатын *Aspergillus niger* L-4 штамымен ашыту кезінде инвертаза биосинтезін зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- ферменттік препараттардың қасиеттерімен танысу;
- қара бидай дәнін ұнтақтау құрамын және оның соңғы өнімге әсерін зерттеу;
- гидролизаттағы глюкозаның, мальтозаның және декстриндердің мөлшерін талдау;
- инвертаза биосинтезін зерттеудегі ғылыми бағытты таңдауды негіздеу.

Зерттеу нысандарымен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде көмірсутекті шикізатты лимон қышқылына ашыту үшін БТҚҒЗИ ФМБҒМ-те шығарылған *Aspergillus niger* L-4 микромицетті штамы болды [14–17].

Тартылған қара бидай дәнінің гидролизаты келесідей дайындалды. Алдымен қара бидай дәнін ұнтақтау ағынды сумен (гидромодуль қатынасы 1:3) араласып, сіңіру үшін бір күнге қалдырылды. Қара бидай дәнін ұнтақтаудағы көмірсутекті құрамдас бөліктерді аспергиллге қолжетімді түрге, атап айтқанда моно- және дисахаридтерге айналдыру үшін қара бидай дәнін ұнтақтау целлюлолитикалық, амилolitikлық және глюканаза ферменттерінің препараттарын қолдану арқылы гидролиздендірілді. Алдымен целлюлолитикалық әсер ететін ферменттік препарат — целловиридин және β-глюканаза (екінші тәжірибе үшін) қосылды, бұрын 20 см³ тазартылған суда сұйылтылған және үнемі араластыра отырып, су моншасында 50–55 °С температурада 1 сағат ұсталды. Содан кейін алдын ала 20 см³ дистилденген суда сұйылтылған амилolitikлық әсері бар препарат — амилосубтилин қосылды және температурасы 80–85 °С дейін жеткізіліп, үнемі араластыра отырып, су моншасында 1 сағат ұсталды [18].

Лимон қышқылының өндірушісі — Fungi патшалығына, Neomycota қосалқы патшалығына, Ascomycota бөліміне, Euascomycotina бөлімшесіне, Plectomycetes класына жататын *Aspergillus niger* саңырауқұлағы болып табылады. Бұл жұмыста *Aspergillus niger* L-4 саңырауқұлақ штамы қолданылды [19–22].

Микробиологиялық синтез үшін субстрат ретінде қара бидай дәнін ұнтақтау арқылы дайындалған гидролизат пайдаланылды. ГОСТ 16990–2017 сәйкес Омбы ауданының стандартты сапалы қара бидай дәндерін қолданды. Азот көзі ретінде аммоний нитраты зерттелді (ГОСТ 29302–92).

Гидролизаттардың көмірсулар құрамы Смирнов анықтаған Зихерд-Блейер әдісімен анықталды (1-кесте).

К е с т е 1

Қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарының құрамы

Нұсқалар	Декстро­за эквиваленті ДЕ, %	Гидролизаттардағы қант сомасындағы көмірсулардың үлесі, %		
		глюкоза	мальтоза	декстриндер
I нұсқа (Целловиридин — 2 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 1 б/г)	36,6±1,4	10,3±0,4	33,9±1,3	55,6±2,2
II нұсқа (Целловиридин — 4 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 2 б/г)	71,8 ± 2,8	5,3 ± 0,2	52,1 ± 2	42,6 ± 1,7
III нұсқа (Целловиридин — 6 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 3 б/г)	66 ± 3	4,3 ± 0,1	47,5 ± 1,9	48,2 ± 1,9
2 β-глюканаза ферментін қосумен тәжірибе				
I нұсқа (Целловиридин — 4 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 2 б/г)	36,6±1,4	5,3 ± 0,2	52,1 ± 2	42,6 ± 1,7
II нұсқа (Целловиридин — 4 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 2 б/г және β-глюканаза — 3 б/г)	43,7±1,7	16,8±0,6	76,8±3,1	6,4±0,2
III нұсқа (Целловиридин — 4 б/г, Ами­лосу­бти­лин — 2 б/г және β-глюканаза — 6 б/г)	57,8±2,3	13,2±0,5	39,6±1,4	47,2±1,8

Бірінші тәжірибеде 1 нұсқа үшін ферменттік препараттар дозасы: целловиридин — 2 бірлік/г және ами­лосу­бти­лин — 1 бірлік/г құрайды. 2 нұсқа үшін ферменттік препараттар: целловиридин — 4 бірлік/г және ами­лосу­бти­лин — 2 бірлік/г құрайды. 3 нұсқа үшін ферменттік препараттар: целловиридин — 6 бірлік/г және ами­лосу­бти­лин — 3 бірлік/г құрайды.

Екінші тәжірибеде ферменттік препараттар дозасы 1 нұсқасы үшін: целловиридин — 4 бірлік/г, ами­лосу­бти­лин — 2 бірлік/г құрайды. 2 нұсқа үшін ферменттік препараттар дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, ами­лосу­бти­лин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 3 ед/г құрайды. 3 нұсқа үшін ферменттік препараттар дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, ами­лосу­бти­лин-2 бірлік/г және β — глюканаза-6 бірлік/г. Дайын ерітіндіні салқындатып, рефрактометрден құрғақ заттардың құрамы қаралды.

Алынған зерттеу нәтижелері

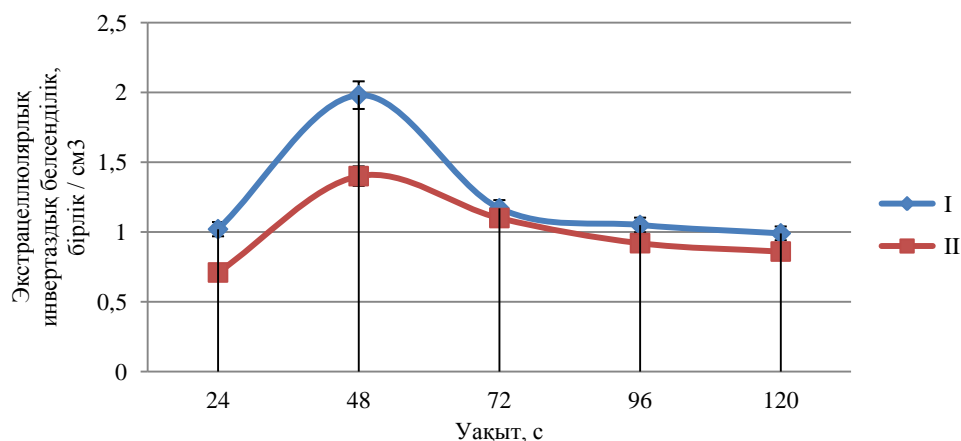
Ашыту Multitron (INFORS, Швейцария) шейкер-инкубатор жағдайында сыйымдылығы 750 см³ болатын шайқағыш колбаларда мицелийді алу сатысында — 32 °С температурасында минутына 230 айналым, ашыту сатысында — 32 °С температурасында минутына 230 айналым жасалды.

Бірінші суретте қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарында *Aspergillus niger* Л-4 штамының экстрацеллюлярлық инвертазалық белсенділігінің өсіру уақытына тәуелділігі көрсетілген.

Графиктен *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезінде ашыту процесінің 2-ші тәулікте нативті ерітіндідегі инвертаза белсенділігінің максимумына қол жеткізілетінін көруге болады. Бірінші нұсқада инвертаза белсенділігі — 1,9 бірлік/см³ нативті ерітіндіні, ал екінші нұсқада — 1,4 бірлік/см³ нативті ерітіндіні құрайды. 120 сағатқа қарай (ашыту процесінің соңында) инвертаза белсенділігі төмендейді.

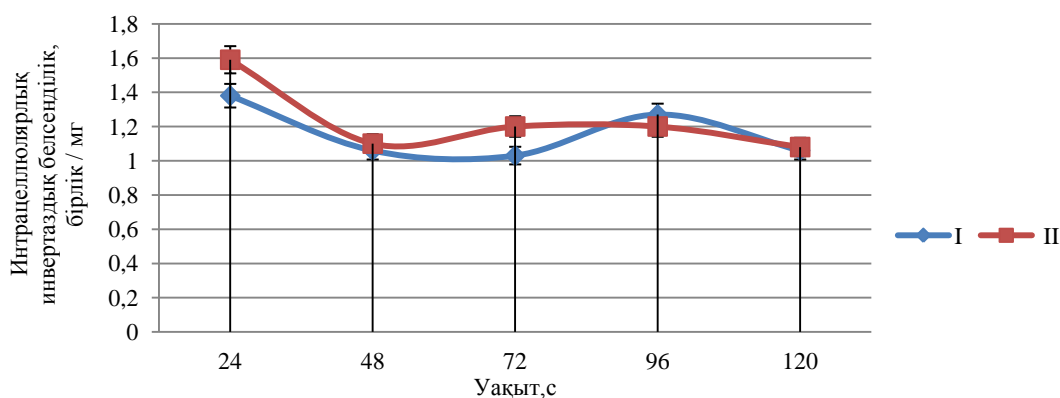
Екінші суретте қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарында *Aspergillus niger* Л-4 штамының интрацеллюлярлық инвертазалық белсенділігінің өсіру уақытына тәуелділігі көрсетілген.

Графиктен *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезінде ашыту процесінің 1-ші тәулікте мицелиядағы инвертаза белсенділігінің максимумына қол жеткізілетінін көруге болады. Бірінші нұсқада инвертаза белсенділігі — 1,38 бірлік/мг мицелиалды массаны, ал екінші нұсқада — 1,6 бірлік/мг мицелиалды массаны құрайды. 120 сағатқа қарай (ашыту процесінің соңында) инвертаза белсенділігі төмендейді.



1-нұсқа — целловиридин — 1 бірлік/г және амилосубтилин — 0,5 бірлік/г;
2-нұсқа — целловиридин — 2 бірлік/г және амилосубтилин-1 бірлік/г

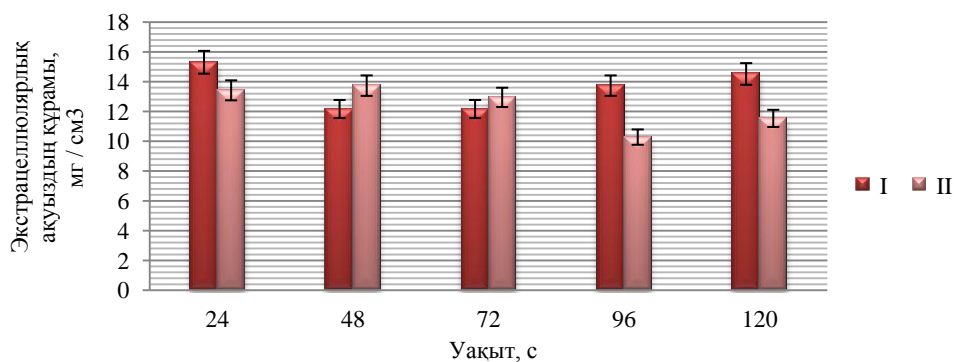
Сурет 1. Қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизатында *Aspergillus niger* Л-4 штамын өсіру кезіндегі экстрацеллюлярлық инвертазалық белсенділік динамикасы



1-нұсқа — целловиридин — 1 бірлік/г және амилосубтилин — 0,5 бірлік/г;
2-нұсқа — целловиридин-2 бірлік/г және амилосубтилин-1 бірлік/г

Сурет 2. Қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизатында *Aspergillus niger* Л-4 штамын өсіру кезіндегі интрацеллюлярлық инвертазалық белсенділік динамикасы

Барлық ферменттердің ақуыз сипатына сүйене отырып, культуралды сұйықтықтың ақуыз компоненттерінің жалпы санын анықтау үшін Лоури әдісі қолданылды. *Aspergillus niger* микромицетінің нативті ерітіндісіндегі ақуыз мөлшерін анықтау нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

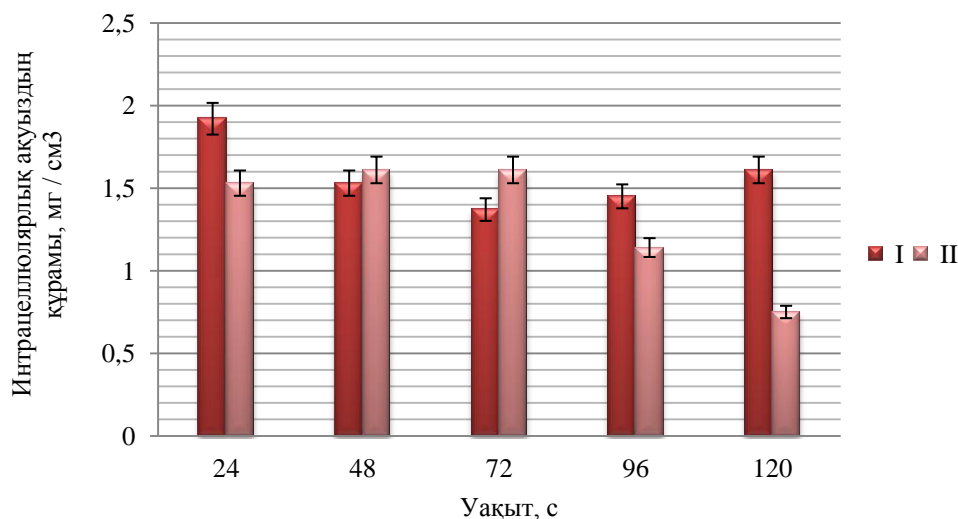


1-нұсқа — целловиридин — 1 бірлік/г және амилосубтилин — 0,5 бірлік/г;
2-нұсқа — целловиридин — 2 бірлік/г және амилосубтилин — 1 бірлік/г

Сурет 3. Нативті ерітіндідегі ақуыз мөлшерін анықтау

Кесте бойынша бірінші нұсқадағы экстрацеллюлярлы ақуыз мөлшері бірінші тәулікте (24 сағат) $15,3 \pm 1,1$ бірлік/см³ деңгейіне көтерілгенін көруге болады. Ал екінші нұсқада ол 2 тәулікке $13,7 \pm 0,7$ бірлік/см³ деңгейіне көтеріледі, содан кейін біртіндеп $10,3 \pm 0,5$ бірлік/см³ дейін төмендейді.

Aspergillus niger микромицет мицелийіндегі ақуыз мөлшерін анықтау нәтижелері 4-суретте көрсетілген.



1-нұсқа — целловиридин — 1 ед/г және амилосубтилин — 0,5 бірлік/г;
2-нұсқа — целловиридин — 2 ед/г және амилосубтилин — 1 ед/г

Сурет 4. Мицелийдағы ақуыз мөлшерін анықтау

Бірінші нұсқадағы интрацеллюлярлы ақуыздың мөлшері 1 тәулікте (24 сағат) $1,9 \pm 0,1$ бірлік/мг мицелий деңгейіне дейін, екінші нұсқада 2 тәулікте (48 сағ) $1,6 \pm 0,1$ бірлік/мг деңгейіне дейін көтеріледі, содан кейін бесінші тәулікте $0,7 \pm 0,1$ бірлік/мг мицелий деңгейіне дейін төмендейді.

Кесте 2

Инвертаза биосинтезіне қоректік ортадағы ферменттік препараттар дозасының әсері (120 сағат)

Ферменттердің дозалары		1 нұсқа	2 нұсқа
Инвертаза белсенділігі*	Интрацеллюлярлық, ед/мг	$1,1 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$
	Σ, ед	3417 ± 170	3948 ± 197
	Экстрацеллюлярлық, ед/см ³	$0,9 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,04$
	Σ, ед	$103,9 \pm 5,2$	$86 \pm 4,3$
Ақуызмөлшері*	Мицелиалды массада	$1,6 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,03$
	Σ, мг	$5,2 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,1$
	Нативті ерітіндіде	$14,5 \pm 0,7$	$11,5 \pm 0,6$
	Σ, мг	1525 ± 76	1154 ± 57
Қышқыл мөлшері Σ, г		$2,4 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,2$

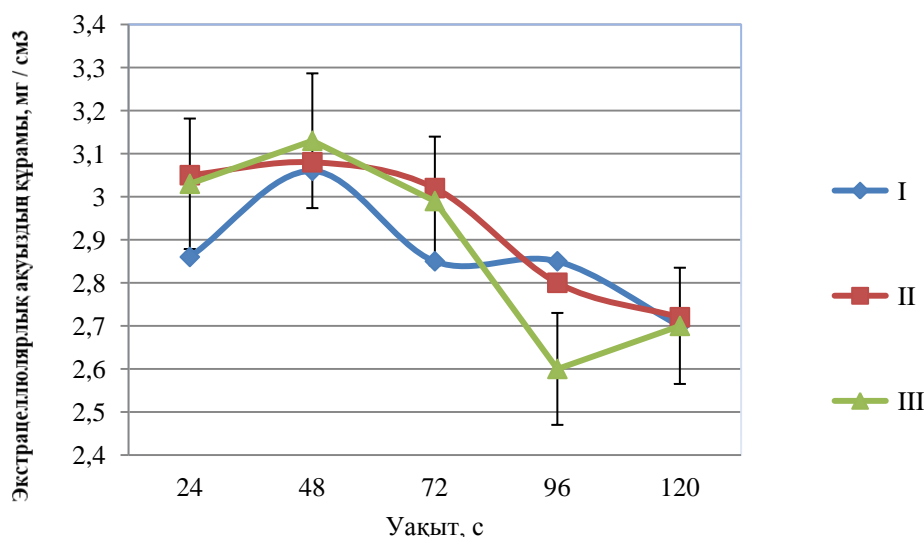
* — қатты заттарға қайта есептеу (ылғалдылығы 10 %)

Салыстыру үшін біз ферменттік препараттардың әртүрлі дозаларының 3 нұсқасымен екінші тәжірибе жасадық. 1-ші нұсқада ферменттік препараттардың дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г, 2-ші нұсқада ферменттік препараттардың дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 3 бірлік/г, 3-ші нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г, 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 6 ед/г құрайды. Дайын ерітінді салқындатылып, рефрактометрдегі құрғақ заттардың құрамы қаралды. Гидролизаттардың көмірсулар құрамы Смирнов анықтаған Зихерд-Блейер әдісімен анықталды (3-кесте). Аспергиллдер сахароза мен оның гидролиз өнімдері (глюкоза, фруктоза) бар көмірсулар құрамындағы күрделі ортада өсіру кезінде инвертаза тиімді синтезделетіні белгілі.

**Қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарының құрамы
(автоклапта залалсыздандыруға дейін және одан кейін)**

Декстроза эквиваленті DU, %	Гидролизаттардағы қант мөлшеріндегі көмірсулардың үлесі, %		
	глюкоза	мальтоза	декстриндер
Автоклаптауға дейін			
60,5±3,6	6,7±0,4	47,1±2,3	46,3±3,7
62±4,3	13,1±0,6	83,6±4,2	3,3±0,2
50±3	9,5±0,3	47,1±2,8	43,4±2,2
Автоклапта залалсыздандырудан кейін			
36,6±2,2	10,3±0,7	33,9±2,1	55,6±3,3
43,7±3,4	16,8±1,3	76,8±3,8	6,4±0,5
57,8±2,8	13,2±0,6	39,6±1,9	47,2±2,4

Бесінші суретте *Aspergillus niger* L-4 штамының жасушадан тыс инвертаза белсенділігінің өсіру уақытына қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарына тәуелділігінің графигі келтірілген.



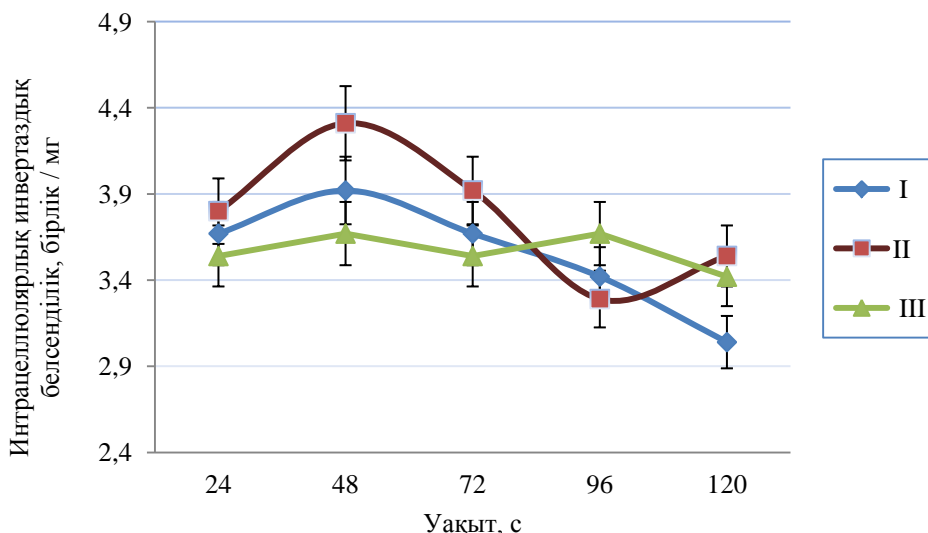
1-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозалары: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г;
2-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозалары: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 3 бірлік/г;
3-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозалары: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 6 бірлік/г

Сурет 5. Ұсақталған қара бидай дәнінің гидролизатында *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезіндегі жасушадан тыс инвертаза белсенділігінің динамикасы

Графиктен *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезінде нативті ерітіндідегі инвертазаның максималды белсенділігіне ашыту процесінің 2-ші күні қол жеткізілетінін көруге болады. Бірінші нұсқада инвертаза белсенділігі 3,1 бірлік/см³ нативті ерітінді, ал екінші нұсқада 3,2 бірлік/см³ нативті ерітінді, үшінші нұсқада инвертаза белсенділігі 3,2 бірлік/см³.

Алтыншы суретте *Aspergillus niger* L-4 штамының жасушаішілік инвертаза белсенділігінің өсіру уақытына қара бидай дәнін ұнтақтау гидролизаттарына тәуелділігінің графигі келтірілген.

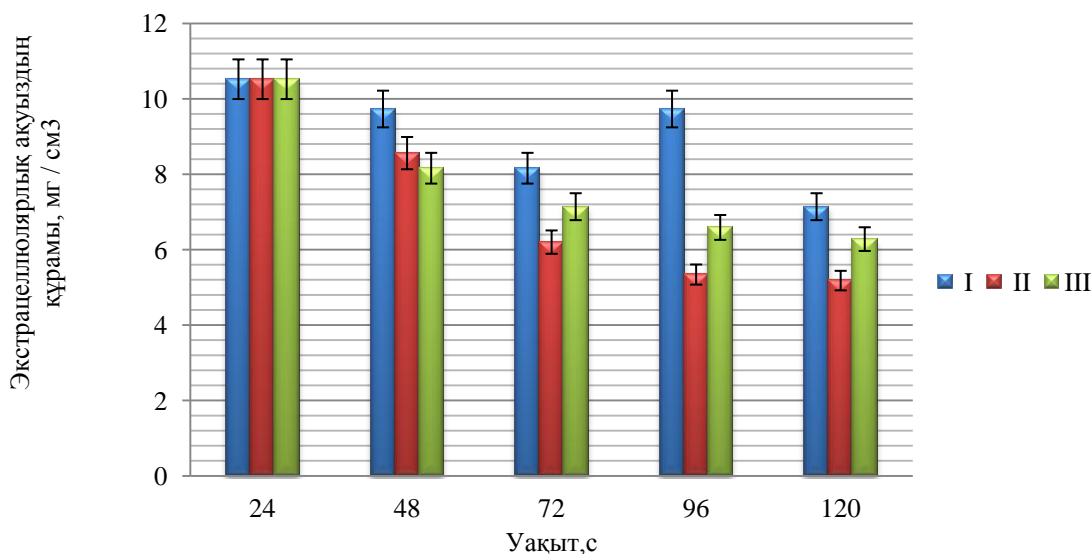
Графиктен *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезінде мицелийдағы инвертазаның максималды белсенділігіне ашыту процесінің 2-ші күні қол жеткізілетінін көруге болады. Бірінші нұсқада инвертаза белсенділігі мицелий массасының 3,9 бірлік /мг, ал екінші нұсқада мицелий массасының 4,3 бірлік /мг, ал үшінші нұсқада инвертаза белсенділігі 3,7 бірлік /мг құрайды.



1-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозасы: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г болды; 2-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозалары: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 3 бірлік/г; 3-нұсқа үшін ферменттік препараттардың дозалары: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 6 бірлік/г

Сурет 6. Қара бидай дәнінің гидролизатында *Aspergillus niger* L-4 штамын өсіру кезінде жасушаішілік инвертаза белсенділігінің динамикасы

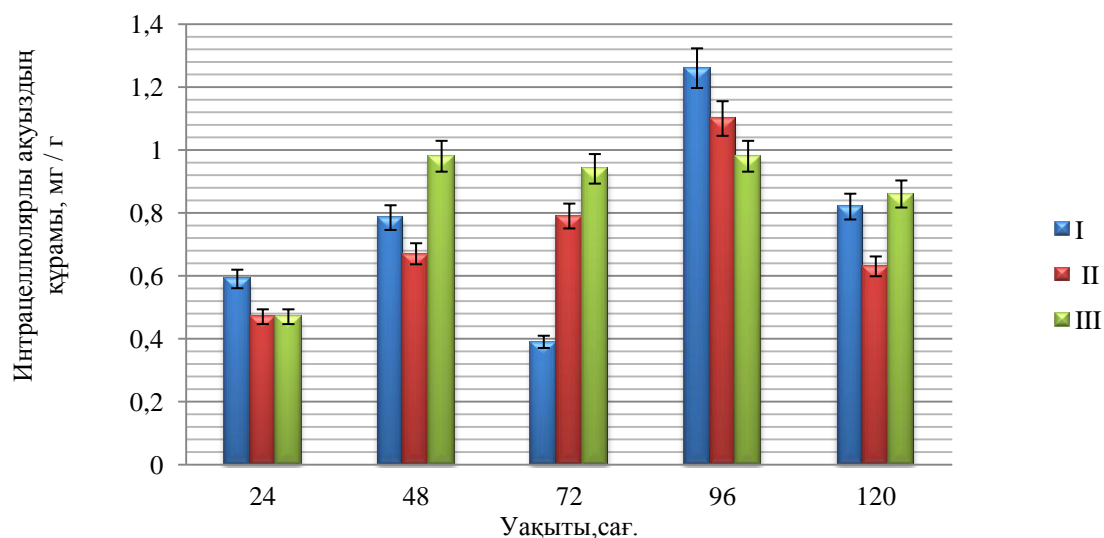
Aspergillus niger микромицетінің нативті ерітіндісіндегі ақуыз мөлшерін анықтау нәтижелері 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7. Нативті ерітіндідегі ақуыз мөлшерін анықтау

Нативті ерітіндіде (жасушадан тыс ақуыз) ақуыз мөлшері барлық үш нұсқада ((10,5 ± 0,6) мг/см³) алғашқы 24 сағат ішінде артады. Продуцентті өсірудің 48 сағатынан бастап нативті ерітіндідегі ақуыз мөлшері азаяды, бұл протеиназалардың әсерінен болуы мүмкін (белоктар гидролизденеді).

Aspergillus niger микромицетінің мицелийіндегі ақуыз мөлшерін анықтау нәтижелері 8-суретте көрсетілген.



Сурет 8. Мицелийдағы ақуыз мөлшерін анықтау

1-варианттағы жасушаішілік ақуыздың мөлшері 4-ші күні (96 сағат) мицелийдің $1,3 \pm 0,1$ бірлік/мг деңгейіне дейін, сонымен қатар екінші нұсқада 4-ші күні (96 сағат) $1,1$ деңгейіне дейін артады. $1,0 \pm 0,1$ бірлік/мг. Ал 3-нұсқада белоктың максималды жинақталуы 4-ші күні (96 сағат) $0,9 \pm 0,1$ бірлік/мг құрады.

Кесте 4

Қоректік ортадағы фермент препараттарының дозасының инвертаза биосинтезіне әсері (120 сағат)

Ферменттердің дозалары		1 нұсқа	2 нұсқа	3 нұсқа
Инвертаза белсенділігі*	Интрацеллюлярлық ед/мг	3,1	3,5	3,4
	Σ, ед	11066	11965	12791
	Экстрацеллюлярлық ед/см ³	2,8	2,7	2,8
	Σ, ед	273,2	292,4	311,4
Құрамындағы ақуыз*	Мицелиалды массада	0,8	0,6	0,9
	Σ, мг	2,9	2,1	3,2
	Нативті ерітіндіде	7,1	5,2	6,3
	Σ, мг	707	557	703
Қышқыл мөлшері Σ, г			3,5	2,6
*-құрғақ затқа айналуы (ылғалдылығы 10 %)				

Қорытынды

Жинақталған ақпараттық зерттеулер негізінде *Aspergillus niger* дақылымен синтезделген инвертаза ТМД елдерінде тапшы технологиялық көмекші ретінде сұранысқа ие екендігі анықталды;

Инвертаза биосинтезін зерттеу бойынша жүргізілген жұмыстардың нәтижесінде ұнтақталған кара бидай дәнін гидролиздеудің ең қолайлы және үнемді нұсқасы ферменттік препараттардың дозаларын қолдану болып табылатыны анықталды: целловиридин — 4 бірлік/г, амилосубтилин — 2 бірлік/г және β-глюканаза — 3 бірлік/г. Бұл жағдайларда еритін көмірсулардың мөлшері (%) құрады: DU — $43,7 \pm 3,4$, глюкоза — $16,8 \pm 1,3$, мальтоза — $76,8 \pm 3,8$, декстриндер — $6,4 \pm 0,5$ және қышқылдың мөлшері β жоқ нұсқаға қарағанда жоғары -глюканаза. Нәтижелі ерітіндідегі және мицелийдегі инвертаза белсенділігін бағалау нәтижелеріне сүйене отырып, мицелийдегі инвертаза мөлшері жоғары деген қорытынды жасауға болады. Сондықтан мицелийден инвертазаны бөліп алу әдісін жасаған жөн. Зерттеу жұмысы «Бүкілресейлік тағамдық қоспаларды ғылыми-зерттеу институты» Федералдық мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесінде (БТҚҒЗИ ФМБҒМ) жасалынды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Kumar V. Anna food / V. Kumar, R. Vijayakumar, S. Jagannathan, P. Srinivasan, K. Assalam Khan, K. Suganya // Sci Techn. — 2011. — P. 12–174.
- 2 Soccol C.R. Glucoamylase / C.R. Soccol, P.J. Rojan, A.K. Pate, A.L. Woiciechowski, L. P.C. Vandenberghe, A. Pandey // Enzyme technology. — Asiatech Publishers Inc., 2005. — P. 221–38.
- 3 Кулаипбекова А.А. Гидролиз помола зерна ржи ферментными препаратами: сб. тез. докл. Конгресса молодых ученых / А.А. Кулаипбекова, А.А. Принцев, Н.Ю. Шарова. — СПб., 2019. — С. 198.
- 4 Ramírez-Escudero M. Structural analysis of β -Fructofuranosidase from *Xanthophyllomyces dendrorhous* Reveals Unique Features and the Crucial Role of N-Glycosylation in Oligomerization and Activity / M. Ramírez-Escudero, M. Gimeno-Pérez, B. González, D. Linde, Z. Merdzo, M. Fernández-Lobato, J. Sanz-Aparicio // Biol. Chem. — 2016. — Vol. 291 (13). — P. 6843–6857.
- 5 Kulshrestha S. Invertase and its applications — A brief review / S. Kulshrestha, P. Tyagi, V. Sindhi, K.S. Yadavilli // Journal of Pharmacy Research. — 2013. — Vol. 7 (9). — P. 792–797. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jopr.2013.07.014>
- 6 Chibbar R.N. Carbohydrate Metabolism / R.N. Chibbar, S. Ganeshan, M. Baga, R.L. Khandelwal // Encyclopedia of Grain Science. — Oxford: Elsevier Academic Press, 2004. — Vol. 1. — P. 168–179. <https://doi.org/10.1016/BO-12-765490-9/00029X>
- 7 Мещерякова О.Л. Сравнительная характеристика свойств свободной и иммобилизованной β -фруктофуранозидазы / О.Л. Мещерякова, О.С. Корнеева, Г.П. Шуваева // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 2. — С. 356.
- 8 Ch, A.I.R. Production of Invertase by *Aspergillus niger* Under Solid State Fermentation Using Orange Fruit Peel as Substrate / A.I.R. Ch, K. Pulipati, A. Jetti // Adv Crop Sci Tech. — 2016. — Vol. 247 (4). — P. 247.
- 9 Kaur N. Production, optimization and characterization of extracellular invertase by *Actinomyces* strain / N. Kaur, A.D. Sharma // J. Sci. Ind. Res. — 2005. — Vol. 64 (7). — P. 515–519.
- 10 Скиба Е.А. Технология производства дрожжей: учеб. пос. / Е.А. Скиба. — Бийск: Изд-во Алтай. гос. техн. ун-та, 2010. — 121 с.
- 11 Римарева Л.В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей: учеб. пос. / Л.В. Римарева. — М.: ДеЛи принт, 2010. — 256 с.
- 12 Грачева И.М. Биотехнология биологически активных веществ: учеб. пос./ И.М. Грачева. — М.: Элевар, 2006. — 453 с.
- 13 Braaksma M. The effect of environmental conditions on extracellular protease activity in controlled fermentations of *Aspergillus niger* / M. Braaksma, A.K. Smilde // Microbiology. — 2009. — Vol. 155 (10). — P. 3430–3439. <https://doi.org/10.1099/mic.0.031062-0>
- 14 Reilly M.C. Approaches to understanding protein hyper secretion in fungi / M.C. Reilly, J.K. Magnusin, S.E. Baker // Fungal Biology Reviews. — 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.002>
- 15 Apelblat A. Citric acid / A. Apelblat. — Cham: Springer International Publishing Switzerland, 2015. — 110 p.
- 16 Adham N.Z. Attempts at improving citric acid fermentation by *Aspergillus niger* in beet-molasses medium / N.Z. Adham // Bioresour Technol. — 2002. — Vol. 84 (1). — P. 97–100. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00007-X)
- 17 Ahmed S.A. Mitochondrial activity during citric acid production by *Aspergillus niger* / S.A. Ahmed, J.E. Smith, J.A. Anderson // Trans. Br. Mycol. Soc. — 1972. — Vol. 59. — P. 51–61.
- 18 Max B. Biotechnological production of citric acid / B. Max, J.M. Salgado, N. Rodriguez // Braz. J. Microbiol. — 2010. — Vol. 41 (4). — P. 862–875.
- 19 Thauer R.K. Citric-acid cycle, 50 years on. Modifications and an alternative pathway in anaerobic bacteria / R.K. Thauer // Eur J Biochem. — 1988. — Vol. 176 (3). — P. 497–508.
- 20 Schulze T. Industrial biotechnology. Opportunities for the grain processing industry / T. Schulze. — M: Graintek, 2011. — 260 p.
- 21 Verwimp T. Rye Constituents and Their Impact on Rye Processing / T. Verwimp, C.M. Courtin, J.A. Delcour // Food Biochemistry and Food Processing. — 2012. — P. 654–672. <https://doi.org/10.1002/9780470277577.ch25>
- 22 Takis A. Cansfield Isolation, partial characterization, and antinutritional activity of a factor (pentosans) in rye grain / A. Takis, R.M. Ronald, E. Peter // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 1981. — Vol. 29 (6). — P. 1240–1247.

А.А. Кулаипбекова, А.Ч. Каташева, А.Ж. Женисова, А.У. Байбекова

Исследование биосинтеза инвертазы при ферментации штаммом *Aspergillus niger* L-4

Использование ферментов или микроорганизмов в пищевых продуктах — это давний процесс. С развитием технологий были разработаны новые ферменты с широким диапазоном использования и спецификой, а новые области применения все еще изучаются. Микроорганизмы, такие как бактерии, дрожжи и микромицеты и их ферменты, широко используются в пищевых препаратах для улучшения вкуса и текстуры, и они обеспечивают экономические выгоды для промышленности. Производство

микробных ферментов обладает такими преимуществами, как простота, экономичность и стабильность. Изучение ферментов представляет особый интерес, так как ферментные препараты находят широкое применение в различных отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, медицине, генной инженерии. Ферменты микробного происхождения, такие как биокатализаторы ускоряют процесс со скоростью на порядок выше, чем неорганические катализаторы. В статье рассмотрена способность штамма микромицета *Aspergillus niger* Л-4 — продуцента лимонной кислоты к синтезу фермента — инвертазы при культивировании на питательной среде, состоящей из гидролизата помола зерна ржи. На основании исследования биосинтеза инвертазы установлено, что наиболее предпочтительным и экономически выгодным вариантом гидролиза помола зерна ржи является использование дозировок ферментных препаратов: Целловиридин — 4 ед/г, Амилосубтилин — 2 ед/г и β -глюканаза — 3 ед/г. В этих условиях содержание растворимых углеводов составило (%): ДЕ — $43,7 \pm 3,4$, глюкоза — $16,8 \pm 1,3$, мальтоза — $76,8 \pm 3,8$, декстрины — $6,4 \pm 0,5$ и количество кислоты выше чем в варианта без β -глюканазы.

Ключевые слова: биосинтез, фермент, инвертаза, лимонная кислота, помол зерна ржи, *Aspergillus niger*, ферментация, микромицеты.

A.A. Kulaipbekova, A.Ch. Katasheva, A.Zh. Znenisova, A.U. Baibekova

Study of invertase biosynthesis during fermentation by strain *Aspergillus niger* L-4

The use of enzymes or microorganisms in food products is a long-standing process. With the development of technology, new enzymes have been developed with a wide range of uses and specifics, and a new field of applications is still being studied. Microorganisms such as bacteria, yeast, and micromycetes and their enzymes are widely used in food preparations to improve taste and texture; they provide economic benefits for industry. The production of microbial enzymes has such advantages as simplicity, cost-effectiveness, and stability. The study of enzymes is of particular interest since enzyme preparations are widely used in various industries: agriculture, medicine, and genetic engineering. Enzymes of microbial origin as biocatalysts accelerate the process at a rate and order of magnitude higher than inorganic catalysts. This article examines the ability of the strain of micromycete *Aspergillus niger* L-4 — producer of citric acid to synthesize the enzyme invertase when cultured on a nutrient medium consisting of hydrolysate of rye grain grinding. Based on the study of invertase biosynthesis, it was found that the most preferable and cost-effective option for hydrolysis of rye grain grinding is the use of dosages of enzyme preparations: celloviridin — 4 units/g, amylosubtilin — 2 units/g and β -glucanase — 3 ed/g. Under these conditions, the content of soluble carbohydrates was (%): DE — 43.7 ± 3.4 , glucose — 16.8 ± 1.3 , maltose — 76.8 ± 3.8 , dextrans — 6.4 ± 0.5 and the amount of acid is higher than in the variant without beta-glucanase.

Keywords: biosynthesis, enzyme, invertase, citric acid, rye grain grinding, *Aspergillus niger*, fermentation, micromycetes.

References

- 1 Kumar, V., Vijayakumar, R., Jagannathan, S., Srinivasan, P., Assalam Khan, K., & Suganya, K. (2011). *Anna food. Sci Techn.*, 12–174.
- 2 Soccol, C.R., Rojan, P.J., Pate, A.K., Woiciechowski, A.L., Vandenberghe, L.P.C., & Pandey, A. (2005). *Glucoamylase*. Enzyme technology. Asiatech Publishers Inc., 221–38.
- 3 Kulaipbekova, A.A., Printsev, A.A., & Sharova, N.Yu. (2019). Gidroliz pomola zerna rzhi fermentnymi preparatami: *sbornik tezisev dokladov Kongressa molodykh uchenykh* [Rye grain milling hydrolysis with enzyme preparations].— *Collection of abstracts from the Congress of Young Scientists*. Saint Petersburg, 198 [in Russian].
- 4 Ramírez-Escudero, M., Gimeno-Pérez, M., González, B., Linde, D., Merdzo, Z., Fernández-Lobato, M., & Sanz-Aparicio, J. (2016). Structural analysis of β -Fructofuranosidase from *Xanthophyllomyces dendrorhous* Reveals Unique Features and the Crucial Role of N-Glycosylation in Oligomerization and Activity. *Biol. Chem.*, 291 (13); 6843–6857.
- 5 Kulshrestha, S., Tyagi, P., Sindhi, V., & Yadavilli, K.S. (2013). Invertase and its applications — A brief review. *Journal of Pharmacy Research*, 7(9); 792–797. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jopr.2013.07.014>
- 6 Chibbar, R.N., Ganeshan, S., Baga, M., & Khandelwal, R.L. (2004). *Carbohydrate Metabolism. Encyclopedia of Grain Science*. Oxford: Elsevier Academic Press, 1; 168–179. <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00029X>
- 7 Meshcheriakova, O.L., Korneeva, O.S., & Shuvaeva, G.P. (2012). Sravnitelnaia kharakteristika svoistv svobodnoi i immobilizovannoi β -fruktofuranozidazy [Comparison of properties of free and immobilized β -Fructofuranosidase]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia — Modern problems of science and education*, 2, 356 [in Russian].
- 8 Ch, A.I.R., Pulipati, K., & Jetti, A. (2016). Production of Invertase by *Aspergillus niger* Under Solid State Fermentation Using Orange Fruit Peel as Substrate. *Adv Crop Sci Tech.*, 247 (4); 247.

- 9 Kaur, N., & Sharma, A.D. (2005). Production, optimization and characterization of extracellular invertase by *Actinomyces* strain. *J. Sci. Ind. Res.*, 64(7), 515–519.
- 10 Skiba, E.A. (2010). *Tekhnologiya proizvodstva drozhzhei: uchebnoe posobie [Technology of yeast production: tutorial]*. Biisk: Izdatelstvo Altaiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [in Russian].
- 11 Rimareva, L.V. (2010). *Teoreticheskie i prakticheskie osnovy biotekhnologii drozhzhei: uchebnoe posobie [Theoretical and practical foundations of yeast biotechnology. Tutorial]*. Moscow: DeLi print [in Russian].
- 12 Gracheva, I.M. (2006). *Biotekhnologiya biologicheskii aktivnykh veshchestv: uchebnoe posobie [Biotechnology of biological active compounds. Tutorial]*. Moscow: Elevar [in Russian].
- 13 Braaksma, M., & Smilde, A.K. (2009). The effect of environmental conditions on extracellular protease activity in controlled fermentations of *Aspergillus niger*. *Microbiology*, 155 (10); 3430–3439. <https://doi.org/10.1099/mic.0.031062-0>
- 14 Reilly, M.C., Magnusin, J.K., & Baker, S.E. (2016). Approaches to understanding protein hyper secretion in fungi. *Fungal Biology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.002>
- 15 Apelblat, A. (2015). *Citric acid*. Cham: Springer International Publishing Switzerland.
- 16 Adham, N.Z. (2002). Attempts at improving citric acid fermentation by *Aspergillus niger* in beet-molasses medium. *Bioresource Technology*, 84(1), 97–100. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00007-x](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00007-x)
- 17 Ahmed, S.A., Smith, J.E., & Anderson, J.A. (1972). Mitochondrial activity during citric acid production by *Aspergillus niger*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 59; 51–61.
- 18 Max, B., Salgado, J.M., & Rodriguez, N. (2010). Biotechnological production of citric acid. *Braz. J. Microbiol.*, 41 (4); 862–875.
- 19 Thauer, R.K. (1988). Citric-acid cycle, 50 years on. Modifications and an alternative pathway in anaerobic bacteria. *Eur J Biochem.*, 176 (3); 497–508.
- 20 Schulze, T. (2011). *Industrial biotechnology. Opportunities for the grain processing industry*. Moscow: Graintek.
- 21 Verwimp, T., Courtin, C.M., & Delcour, J.A. (2012). Rye Constituents and Their Impact on Rye Processing. *Food Biochemistry and Food Processing*, 654–672. <https://doi.org/10.1002/9780470277577.ch25>
- 22 Takis, A., Ronald, R.M., & Peter, E. (1981). Cansfield Isolation, partial characterization, and antinutritional activity of a factor (pentosans) in rye grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29 (6); 1240–1247.

У.Қ. Сарсембин^{1*}, Г.А. Батырова², Г.А. Умарова²,
Г.М. Ургушбаева², Н.Е. Айкенова¹

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан;

²М. Оспанов атындағы Батыс Қазақстан медицина университеті, Ақтөбе, Қазақстан

*Хат-хабарларға арналған автор: umbetali_s.k@mail.ru

Ақтөбе қаласының топырағының ауыр металдармен ластануын экологиялық бағалау

Мақалада Ақтөбе қаласының топырағындағы химиялық элементтердің (Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, Mb, Cr, Fe) жылжымалы формаларының мөлшерін анықтау үшін жүргізілген химиялық талдау нәтижелері талқыланған. Ақтөбе қаласы территориясының 7 сынақ алаңының топырағына зерттеу жүргізілді, химиялық элементтердің концентрациялары анықталып, концентрация коэффициенттері және ластанудың қосынды көрсеткіші Zc есептелінді. Есептеу нәтижелері 4–8 микроаудандар мен «Әуе қалашығының» территориясының топырағының ауыр металдармен ластану деңгейі Zc=19,4–22,2 аралығында (16 < Zc < 33 — орташа, қауіптілік деңгейі жоғары емес), ал басқа зерттеу зоналарының топырағының ластану дәрежелері Zc<16 төменгі ластану деңгейін көрсетті.

Кілт сөздер: топырақ, ластану, химиялық талдау, ауыр металдар, элементтердің концентрациясы, фондық мөлшер, ауыр металдардың концентрация коэффициенттері, топырақтың ауыр металдармен ластануының қосынды көрсеткіші.

Кіріспе

Топырақтың ауыр металдармен ластануы табиғи ортаның барлық объектілерін деградацияға ұшыратып, оларға локалды, регионалды және ғаламдық деңгейде әсерін тигізеді. Ауыр металдардың концентрацияларының топырақта жинақталуы биологиялық түрлердің тіршілік ету қабілеттіліктеріне тікелей ықпалын тигізеді, олардың артық мөлшерде жинақталуы тірі организмдерді ауруға шалдықтырып, оның салдары генетикалық деңгейде байқалуы мүмкін.

Техногенді ландшафттардың топыраққа тигізетін әзері ұзақ болатындықтан топырақ негізгі зерттеу объектісі ретінде таңдалынған. Топырақ ауа мен сулы ортадан токсиканттарды сіңіреді және фильтрдің рөлін атқарады. Осыған байланысты топырақ пен өсімдіктердегі улы элементтердің мөлшері транспорт және өндірістік кәсіпорындардың әсерін анықтайтын диагностикалық белгі ретінде қарастыруға болады [1].

Ауыр металдар физикалық-химиялық немесе биологиялық деградациялануға ұшырамай, топырақтың беткі қабатында жинақталып, олардың қасиетін өзгертеді және ұзақ уақыт бойы өсімдіктердің тамырларының сіңіруіне қолжетімді болады, сондай-ақ трофикалық тізбектер бойынша миграциялық процестерге белсенді түрде қатысады.

Химиялық элементтер қажетті биологиялық функцияларды атқаруға қабілетті, кейбір ауыр металдардың әрі тірі жүйелердің тіршілігіне қажеттілігі бар, бірақ биологиялық объектілерде концентрацияларының жоғары болуы оларды токсикологиялық зат ретінде қарастырады [2].

Үлкен металлургиялық кәсіпорындардың атмосфералық шығарындылары техногендік геохимиялық аномалияларды қалыптастырады, олардың орталығында ауыр металдардың концентрациялары фондық көрсеткіштен бірнеше есе асатындығы автордың еңбегінде талқыланған [3]. Топыраққа өнеркәсіптік токсиканттардың үздіксіз түрде түсуінің нәтижесінде ұзақ жылдар бойы ластаушы заттар жинақталған техногендік геохимиялық аудандар қалыптасады. Ауыр металдардың ішінде ең қауіпті элемент ол қорғасын.

Қанда қорғасынның концентрациясының жоғары мөлшерде болуы балалардың физикалық дамуын кешеуілдететіндігі және мидың қалыпты дамуына кері әсер ететіндігі туралы автордың зерттеу жұмысында дәлелденген [4].

Адамның қанындағы ауыр металдардың деңгейімен және олардың қаланың топырағындағы мөлшері арасында экспоненциальдық байланыс бар екендігі автордың ғылыми еңбегінде анықталған [5].

Ақтөбе территориясында үлкен металлургиялық, химиялық және басқада түрлі өндірістік кешендер орналасқан еліміздегі үлкен өнеркәсіптік қалалардың бірі. Автотранспорттар, Ақтөбе феррокорытпа заводы (АФЗ) және Ақтөбе хром қосындылар заводы (АХҚЗ) қалаға техногенді жүктеме түсіретін негізгі лақтаушы көздер болып табылады.

Қала территориясында өндірістік кәсіпорындардың орналасуының нәтижесінде қоршаған орта компоненттері техногендік әсерге ұшырайды. Әсіресе металлургиялық, химиялық өндірістік кешендерден және автотранспорттардың шығарындыларының құрамындағы химиялық элементтер топыраққа жинақталып экожүйелердің қалыпты қызметінің бұзылуына әкелуі мүмкін. Сондықтан Ақтөбе қаласы сияқты өндірістік қалалардың топырағындағы химиялық элементтердің нақты мөлшерін анықтау және топырақтың ауыр металдармен қосынды ластануын экологиялық бағалау қазіргі уақыттағы актуалды мәселе.

Зерттеу жұмысының мақсаты — Ақтөбе қаласының топырағының ауыр металдармен ластану деңгейін экологиялық бағалау.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Топырақтағы ауыр металдардың концентрацияларын анықтау мақсатында Ақтөбе қаласының 7 зонасынан топырақ сынамалары алынды. Сынамалар топырақтың беткі қабатынан (0–15 см) конверт әдісімен (5 нүктеден) алынды. 5 нүктеден алынған сынамаларды араластыру арқылы салмағы 1 кг құрайтын біріктірілген топырақ сынамасы әзірленді. Топырақтағы элементтердің мөлшерін анықтау үшін топырақ сынамаларын алу және дайындау МЕМСТ 17.4.4.02–84 «Табиғатты қорғау. Топырақ. Химиялық, бактериологиялық, гельминтологиялық талдау үшін сынамаларды алу және дайындау әдістеріне» сәйкес жүзеге асырылды.

Ақтөбе қаласының топырақ жамылғысы Елек өзені және оның салалары Жаман-Қарғалы, Жіңішке, Сазды және Тамды өзендерінің жайылма учаскелері мен жайылмаларының жоғары тер-рассаларын бойында, Оңтүстік Орал мен Каспий синеклизасының түйіскен жерінде қалыптас-қандығы туралы және топырақтың қоңыр каштанды, орташа құрғақты зонаға жатады [6, 82 б.].

Топырақ сынамалары алынған территориялардың тізімі мен олардың координаттары 1-кестеде келтірілген, 1-суретте қалалық аудандардың топырағынан алынған сынама нүктелерінің картасы көрсетілген.

К е с т е 1

Ақтөбе қаласы топырақ сынамалары алынған территориялар және олардың координаттары

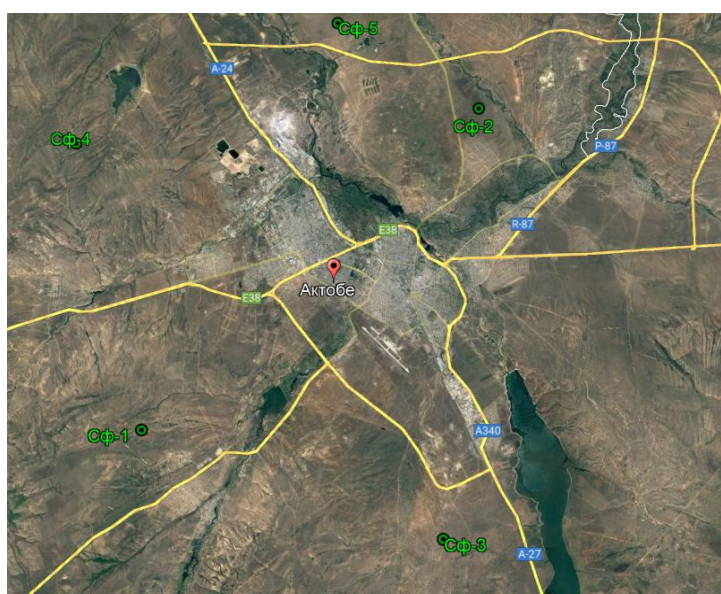
№	Аудан	Сынама алынған алаңдардың координаттары
1	«Шанхай» және Тұрғындар қалашығы (О. Кошевой көшесі)	N 50,3164797642591, E 57,1311544162285
2	1–5 қалалық микроаудандар (Гайбеков көшесі)	N 50,2822058565568, E 57,1704618607006
3	4–8 микроаудандар (М. Оспанов көшесі мен Гришина көшесі)	N 50,2776933875231, E 57,1696541631417
4	«Курмыш» ауданы (Набережная мен Д. Қонаев көшелері)	N 50,29190957736, E 57,2301248890604
5	«Москва» ауданы, 11, 12 микрорайондар (Московская және Х. Доспанов көшелері)	N 50,2756689800235, E 57,214359245207
6	«Оторвановка» және «ГМЗ» аудандары (Береговая көшесі)	N 50,2577663979997, E 57,2447812076865
7	«Авиагородок» ауданы (Рахат көшесі)	N 50,2469054343880, E 57,2146967003520

Топырақтағы элементтердің нақты концентрацияларын білу үшін зерттелінетін ауыр металдардың топырақтағы фондық мөлшері анықталды. Бақылау (фондық) учаскесі ретінде Ақтөбе қаласынан 10 км радиустық қашықтықтан, шартты түрде антропогендік жүктеме түспейтін (өндірістік зоналардан қашық жерлерден) 5 сынама алаңы таңдалынды. 5 фондық алаңның топырағының беткі қабаттарынан (0–15 см) МЕМСТ 17.4.4.02–84 сәйкес 15 сынама алынды.



Сурет 1. Топырақ сынамалары алынған нүктелер

Топырақ сынамалары алынған фондық нүктелердің картасы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Топырақ сынамалары алынған фондық нүктелер

Ақтөбе қаласының топырағындағы элементтердің Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, Mb, Cr, Fe жылжымалы формаларының концентрацияларын анықтау «Алия и Ко» ЖШС сертификацияланған зертханасының базасында атомды-абсорбционды әдіспен, М-МВИ-80–2008 нормативтік құжатына сәйкес жүргізілді.

Топырақтың ауыр металдармен ластану дәрежесін бағалау үшін ластанудың қосынды көрсеткіші, нормативтік-әдістемелік құжаттарда бекітілген Z_c пайдаланылды. Z_c — тұрғындардың денсаулығына қолайсыз әсер етудің индикаторы болып табылатын және топырақтың ластануына ауыр металдардың жалпы қосатын үлесін анықтайтын интегралды көрсеткіш ретінде кеңінен пайдаланылатын коэффициент [7, 8].

Топырақтың ауыр металдармен ластануының қосынды көрсеткіші келесі формуламен есептелінеді:

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n-1),$$

мұнда Z_c — ластанудың қосынды көрсеткіші; K_{ci} — химиялық элементтің концентрациясының коэффициенті; n — есептелінетін элементтердің саны.

Концентрация коэффициенті K_{ci} — урбанизацияланған территориялардағы ластаушы көздерден бөлінетін поллютанттардың жинақталуымен сипатталатын локалды техногендік аномалияларды анықтауға және талдауға мүмкіндік береді.

Концентрация коэффициенті K_{ci} келесі формуламен есептелінеді:

$$K_{ci} = C_i / C_{\phi},$$

мұнда, C_i — анықталған химиялық элементтің топырақтағы нақты концентрациясы, мг/кг; C_{ϕ} — химиялық элементтің топырақтағы фондық концентрациясы, мг/кг.

Қауіптілік дәрежесі бойынша элементтермен қосынды ластануды сипаттайтын Z_c мәнінің диапазондары келесідей: $Z_c < 16$ — төменгі деңгей; $16 < Z_c < 33$ — орташа деңгей; $32 < Z_c < 64$ — жоғары, қауіпті деңгей; $64 < Z_c < 128$ — максималды, төтенше қауіпті.

Зерттеу нәтижелерін статистикалық өңдеу «Microsoft Excel 2010» бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды. Топырақтың ауыр металдармен ластануының қосынды көрсеткішінің картасы ArcGIS 10.4 бағдарламасымен жасалды.

Нәтижелер және оларды талдау

Топырақтың құрамындағы химиялық элементтердің концентрацияларына химиялық талдау жүргізу және топырақтағы анықталған ауыр металдардың нақты мөлшерін фондық мөлшермен салыстыру арқылы топырақтың ластану жағдайын экологиялық бағалауға мүмкіндік береді.

Ластаған топырақтарда ауыр металдарды (жалпы мөлшері немесе жылжымалы формалары) анықтау топырақ жамылғыларында металдардың бекітілу процестерін болжауға, қоршаған орта компоненттерінің екіншілік ластануына болжам жасауға мүмкіндік береді. Ауыр металдардың жылжымалы формалары қатты фазадан топырақ ерітінділеріне өтуге, сондай-ақ тірі организмдермен сіңірілуіне және грунттық суларды ластауға қабілетті. Топырақта ауыр металдардың жылжымалы формаларының жинақталуына экологиялық бағалау жүргізілді.

Зерттеу зоналарының топырағындағы ауыр металдардың орташа концентрациялары химиялық талданып, концентрация коэффициенттері және қосынды ластану деңгейлері есептелінді (2-кесте).

Кесте 2

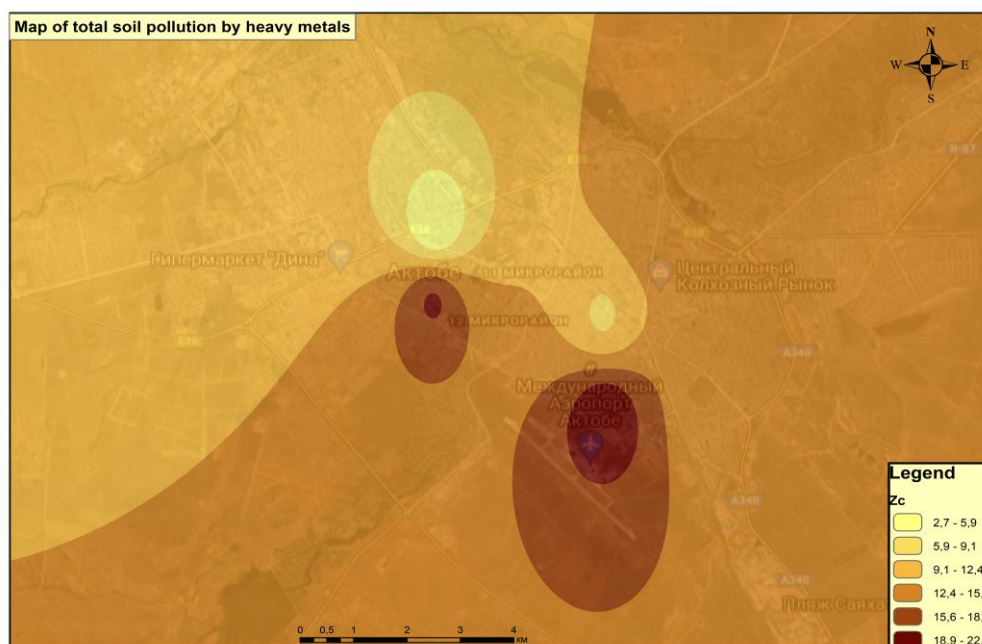
Зерттеу зоналарының топырағындағы ауыр металдардың орташа концентрациялары, концентрация коэффициенттері және қосынды ластану деңгейлері

Элементтер	Cu	Ni	Pb	Zn	Co	Cd	Mb	Cr	Fe
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шекті жол берілген концентрация (ШЖК), мг/кг	3,0	4,0	6,0	23,0	5,0	1,0	5,0	6,0	470
Фондық концентрация, мг/кг	6,9	8,1	1,6	16,2	2,3	1,1	1,0	2,9	753,4
<i>№ 1. О. Кошевой көшесі (Шанхай) және Тұрғындар қалашығы</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	7,73	22,09	1,89	18,88	3,81	2,85	1,24	11,92	1484,2
K_c	1,1	2,7	1,1	1,1	1,6	2,5	1,2	4,1	1,9
Z_c	9,76								
<i>№ 2. Тайбеков көшесі (қалалық 1–5 микроаудандар)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	10,21	13,51	0,00	7,18	2,64	2,03	1,02	4,84	405,64
K_c	1,4	1,6	-/-	0,44	1,1	1,8	0,9	1,6	0,54
Z_c	2,7								
<i>№ 3. М. Оспанов көшесі мен Гришина көшесі (қалалық 4–8 микроаудандар)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	68,48	15,55	10,92	22,83	6,79	1,96	1,34	4,27	506,3
K_c	9,9	1,9	6,0	1,3	2,8	1,9	1,3	1,4	0,68
Z_c	19,4								
<i>№ 4. Набережная және Д. Кунаев көшелері (Журмыш)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	12,83	9,19	15,73	38,32	2,45	1,58	1,12	6,34	1579,5
K_c	1,8	1,1	9,8	2,3	1,0	1,4	1,0	2,1	2,0
Z_c	14,7								
<i>№ 5. Московская және Х. Доспанов көшелері (Москва және 11, 12 микроаудандар)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	14,49	14,44	6,95	11,26	4,44	1,89	1,23	2,32	1595,3
K_c	2,1	1,7	4,3	0,7	1,9	1,7	1,2	0,8	2,1
Z_c	8,6								

Кесте 2 жалғасы

Элементтер	Cu	Ni	Pb	Zn	Co	Cd	Mb	Cr	Fe
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>№ 6. Береговая көшесі («Оторвановка» және «ГМЗ»)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	14,08	16,39	10,32	13,26	5,63	2,63	1,59	0,00	1948,7
K_c	2,04	2,02	6,4	0,83	2,4	2,3	1,5	-/-	2,5
Z_c	13,3								
<i>№ 7. Рахат көшесі («Авиагородок» ауданы)</i>									
Концентрациялардың орташамөлшері мг/кг	19,23	14,34	28,3	24,50	4,39	1,90	1,13	0,00	1471,2
K_c	2,7	1,7	16,5	1,5	1,9	1,7	1,1	-/-	1,9
Z_c	22,2								

1) *О. Кошевой көшесі («Шанхай» және Тұрғындар қалашығы)*. Сынама алынған нүктелердегі Cr концентрациясы (11,92 мг/кг) жоғары, мұны зерттеу зонасына «Ақтөбе хром қосындылар зауыты» АҚ және «Ақтөбе ферроқорытпа зауыты» АҚ өндірістік объектілері мен қалдық сақтау полигондарының жақын орналасуымен түсіндіруге болады (сурет 3). Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 9,76$ ($Z_c < 16$ — ластанудың төменгі деңгейі).



Сурет 3. Ақтөбе қаласының топырағының ауыр металдармен ластануының қосынды көрсеткіштерінің картасы

2) *Тайбеков көшесі (қалалық 1–5 микроаудандар)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 2,7$ ($Z_c < 16$ төменгі ластану деңгейі).

3) *М. Оспанов көшесі мен Гришина көшесі (қалалық 4–8 микроаудандар)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 19,4$ ($16 < Z_c < 33$ — ластанудың орташа деңгейі, қауіптілігі орташа).

4) *Набережная және Д. Қонаев көшелері (Курмыш ауданы)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 14,7$ ($Z_c < 16$ — төменгі деңгей).

5) *Московская және Х. Доспанов көшелері (Москва және 11, 12 микроаудандар)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 8,6$ ($Z_c < 16$ — төменгі деңгей).

6) *Береговая көшесі («Оторвановка» және «ГМЗ» аудандары)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 13,3$ ($Z_c < 16$ — ластанудың төменгі деңгейі).

7) *Рахат көшесі («Авиагородок» ауданы)*. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c = 22,2$ ($16 < Z_c < 33$ — орташа, қауіптілік деңгейі жоғары емес).

Қорытынды

О. Кошевой көшесі («Шанхай» және Тұрғындар қалашығы). Топырақтың фондық зонасымен салыстырғанда зерттеу зонасының топырағында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Ni — 2,7, Co — 1,6, Cd — 2,5, Cr — 4,1 және Fe — 1,9 есе жоғары. Cu, Pb, Zn және Mb концентрациялары фондық деңгейде немесе аз мөлшерде ғана асады.

Тайбеков көшесі (қалалық 1–5 микроаудандар). Топырақ сынамаларында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 1,4, Ni — 1,6, Cd — 1,8, Cr — 1,6 есе фондық концентрация көрсеткіштерінен жоғары, ал қалған элементтердің концентрациялары фондық деңгейде.

М. Оспанов көшесі мен Гришина көшесі (қалалық 4–8 микроаудандар). Топырақтың фондық зонасымен салыстырғанда зерттеу зонасының топырағында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 9,9, Ni — 1,9, Pb — 6,0, Co — 2,8, Cd — 1,9, Cr — 1,4 есе жоғары, ал қалған элементтердің концентрацияларының орташа мөлшері фондық деңгейде немесе аз мөлшерде жоғары.

Набережная және Д. Қонаев көшелері (Курмыш ауданы). Фондық зерттеу территорияларымен салыстырғанда зерттеу аумағының топырағында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 1,8; Pb — 9,8; Zn — 2,3; Cd — 1,4; Cr — 2,1; Fe — 2,1 есе жоғары, ал қалған элементтердің орташа концентрациялары фондық деңгейден аспайды.

Московская және Х. Доспанов көшелері (Москва және 11,12 микроаудандар). Топырақ сынамаларында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 2,1; Ni — 1,7; Pb — 4,3; Co — 1,9; Cd — 1,7 және Fe — 2,1 есе фондық көрсеткіштерден жоғары. Zn, Mb және Cr концентрацияларының орташа мөлшері фондық көрсеткіштен аспайды.

Береговая көшесі («Оторвановка» және «ГМЗ» аудандары). Топырақ сынамаларында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 2,0; Ni — 2,0; Pb — 6,4; Co — 2,4; Cd — 2,3 және Fe — 2,5 есе фондық концентрация көрсеткіштерінен жоғары. Zn және Mb концентрацияларының орташа мөлшері фондық концентрация деңгейінде.

Рахат көшесі («Авиагородок» ауданы). Топырақ сынамаларында келесі элементтердің концентрациялары, мг/кг: Cu — 2,7; Ni — 1,7; Pb — 16,5; Zn — 1,5; Co — 1,9; Cd — 1,7 және Fe — 1,9 есе фондық концентрация көрсеткіштерінен жоғары. Топырақтағы Mb мөлшері фондық концентрация деңгейінде.

Қаладағы 4–8 микроаудандар мен «Әуе қалашығы» аудандарының топырақтарының ауыр металдармен ластану деңгейі $Z_c = 19,4–22,2$ аралығында ($16 < Z_c < 33$ — орташа, қауіптілік деңгейі жоғары емес), ал басқа зерттеу зоналарының топырағының ластану дәрежелері $Z_c < 16$ төменгі ластану деңгейін көрсетті.

Зерттеу жұмысы ҚР БҒМ Ғылым комитеті гранттық негізде қаржыландыратын «Қазақстан Республикасының Батыс өңірінің тұрғындарының элементтік статусы» «Онлайн-атласын әзірлеу» (ЖТН АР08855535) тақырыбындағы ғылыми жобаның аясында орындалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Бойкова Т.Е. Исследование почв города Северодвинска на содержание тяжелых металлов / Т.Е. Бойкова, Т.И. Белозерова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. — 2016. — № 4 (48). — С. 98–104.
- 2 Бечина И.Н. Накопление и перераспределение тяжелых металлов в почвах г. Новодвинска / И.Н. Бечина, Л.Ф. Попова, А.И. Васильева, Ю.С. Коробицина // Научный диалог. Естествознание. Экология. Науки о земле. — 2013. — № 3 (15). — С. 7–25.
- 3 Гревцев Н.В. Геохимические особенности почв в районах функционирования горно-металлургического комплекса / Н.В. Гревцев, Н.Ю. Антонинова, Л.А. Шубина // Изв. вузов. Горный журн. — 2015. — № 8. — С. 29–34.
- 4 Baltas H. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey / H. Baltas, M. Sirin, E. Gökbayrak, A.E. Ozcelik // Chemosphere. — 2020. — Vol. 241. — P. 125015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>
- 5 James A. Heavy metals pollution status of the Katima Mulilo Urban open land wastewater disposal centre and the immediate vicinity / A. James, M. Percy, O.S. Ameh, C. Buggy // Cogent Environmental Science. — 2020. — Vol. 6, Iss. 1. — P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1726093>
- 6 Берденов Ж.Г. Современное состояние и геоэкологический анализ геосистем бассейна реки Илек / Ж.Г. Берденов. — Астана: ТОО «МастерПО», 2017. — 155 с.
- 7 СанПиН 4266–87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. — М.: Минздрав СССР, 1987. — 21 с.

8 Нормативный документ. Критерии оценки загрязнения почвы населенных мест. Приказ и.о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 13 августа 2021 г. № 327. Электронный ресурс. Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39876611

У.Қ. Сарсембин, Г.А. Батырова, Г.А. Умарова, Г.М. Ургушбаева, Н.Е. Айкенова

Экологическая оценка загрязнения почвы города Актөбе тяжелыми металлами

В статье обсуждены результаты химического анализа подвижных форм химических элементов (Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, Mb, Cr, Fe) в почвах г. Актөбе. Исследованы образцы почвы с 7-и пробных площадок на территории указанного города. Определены концентрации химических элементов и проведены расчёты коэффициентов концентрации и суммарного показателя загрязнения почвы тяжелыми металлами (Z_c). Результаты расчета показали, что уровень загрязнения почвы в 4–8 микрорайонах и в районе «Авиатородок» тяжелыми металлами составляет в пределах $Z_c = 19,4–22,2$ ($16 < Z_c < 33$ — средний, умеренно опасный уровень), уровень загрязнения почвы других исследованных зон показал $Z_c < 16$, т.е. низкий уровень загрязнения.

Ключевые слова: почвы, загрязнение, химический анализ, тяжелые металлы, концентрация элементов, фоновое содержание, коэффициенты концентрации тяжелых металлов, суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами.

U.K. Sarsembin, G.A. Batyrova, G.A. Umarova, G.M. Urgushbaeva, N.E. Aikenova

Ecological assessment of soil contamination of Aktobe city with heavy metals

This article discusses the results of chemical analysis of mobile forms of chemical elements (Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, Mb, Cr, Fe) in the soils of Aktobe city. Soil samples from 7 test plots in the territory of Aktobe city are studied. The concentrations of chemical elements are determined, and the concentration coefficients and the total index of soil pollution with heavy metals (Z_c) are calculated. The calculation results show that the level of soil pollution with heavy metals in 4–8 micro-districts and the area “Aviagorodok” is within $Z_c = 19.4–22.2$ ($16 < Z_c < 33$ is an average, moderately dangerous level), while in other studied zones it shows $Z_c < 16$, i.e. low pollution.

Keywords: soil, pollution, chemical analysis, heavy metals, concentration of elements, background content, concentration ratios of heavy metals, total indicator of soil pollution with heavy metals.

References

- 1 Boikova, T.E., & Belozerova, T.I. (2016). Issledovanie pochv goroda Severodvinska na sodержanie tiazhelykh metallov [Research of the city of Severodvinsk on the content of heavy metals]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie — Modern high technologies. Regional application*, 4 (48); 98–104 [in Russian].
- 2 Bechina, I.N., Popova, L.P., Vasileva, A.I., & Korobitsina, Yu.S. (2013). Nakoplenie i pereraspredelenie tiazhelykh metallov v pochvakh g. Novodvinska [Accumulation and distribution of heavy metals in Novodvinsk soils]. *Nauchnyi dialog. Estestvoznaniye. Ekologiya. Nauki o Zemle — Scientific dialog. Natural science. Ecology. Earth science*, 3 (15); 7–25 [in Russian].
- 3 Grevtsev, N.V., Antoninova, N.Yu., & Shubina, L.A. (2015). Geokhimicheskie osobennosti pochv v raionakh funktsionirovaniia gorno-metallurgicheskogo kompleksa [Geochemical features of soils in the areas of mining-metallurgical complex operation]. *Izvestiia vuzov. Gornyi zhurnal — News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 8; 29–34 [in Russian].
- 4 Baltas, H., Sirin, M., Gökbayrak, E., & Ozelik, A.E. (2020). A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*, 241; 125015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>
- 5 James, A., Percy, M., Ameh, O.S., & Buggy, C. (2020). Heavy metals pollution status of the Katima Mulilo Urban open land wastewater disposal centre and the immediate vicinity. *Cogent Environmental Science*, 6 (1); 1–9. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1726093>
- 6 Berdenov, Zh.G. (2017). *Sovremennoe sostoianie i geoekologicheskii analiz geosistem basseina reki Ilek [Current state and geoecological analysis of geosystems in the Ilek river basin]*. Astana: MasterPO [in Russian].
- 7 SanPiN 4266–87 (1987). *Metodicheskie ukazaniia po otsenke stepeni opasnosti zagriazneniia pochvy khimicheskimi veshchestvami [Guidelines for assessing the degree of danger of soil contamination by chemical substances]*. Moscow: Minzdrav USSR [in Russian].

8 (2021). *Normativnyi dokument. Kriterii otsenki zagriazneniia pochvy naseleennykh mest. Prikaz i.o. Ministra ekologii, geologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan ot 13 avgusta 2021 goda N 327* [Regulatory document. Criteria for assessing soil pollution in populated areas. Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan of August 13, 2021 No. 327]. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39876611 [in Russian].

A.K. Shibaeva*, V.M. Shaikhutdinov, B.M. Myrzabayev

Scientific-Analytical Center "Biomedpreparat", Stepnogorsk, Kazakhstan

**Corresponding author: aigerim.shibaeva@gmail.com*

Insecticidal potential of entomopathogenic nematodes of Northern Kazakhstan

The goal of this research experiment is to create a biological preparation based on predatory nematodes to control potato pests. 15 isolates of entomopathogenic nematodes were isolated: 13 were isolated from coniferous and mixed forests; 2 from soils of agricultural fields: 1 from a potato field, 1 from a field sown with perennial grasses. Nematodes were identified as *Steinernematids* based on the color of the corpses of larvae of *Galleria mellonella* and the morphology of males. Isolates of entomopathogenic nematodes from various habitats (forests, agricultural fields, grasslands) of Akmola and Pavlodar regions were isolated. Screening of isolates on the larvae of the seed nutcracker (*Agriotes obscurus*) was carried out. It is established that the wireworm is sensitive to all isolates. Of the 15 isolates tested, 12 of these isolates showed high mortality ability in relation to wireworm: about 50–70 % mortality in laboratory biotests; 3 isolates (AF 15, AF 22, and AS 36) could not cause more than 40 % of the average mortality of larvae. The screening results showed that the isolates AF 29, AF57, and KP76 are good isolates for further studies as a possible bioinsecticide agent against *A. obscurus*.

Keywords: entomopathogenic nematodes, *Steinernematids*, *Agriotes obscurus*, *Galleria mellonella*, biological control.

Introduction

Insect pests are a dangerous threat to agricultural productivity. As a result of their activity, farms lose a significant part of their products every year. In addition to destroying crops due to their direct activities, insect pests are also carriers of plant and animal diseases. In recent years, an increase in insect activity is expected and, thus, yield losses due to climate change [1]. The most dangerous pests of agriculture in Kazakhstan are herd locusts, gray grain and cotton scoops, harmful turtle, Colorado potato beetle, bread beetles, spider mite, cabbage moth [2].

Chemical pesticides are widely used to control pests. However, the use of pesticides has significant drawbacks in the form of the toxicity of the pesticides themselves, as well as the non-selectivity of their action, which can lead to the death of some pollinating insects [3]. In addition, over time, insects can acquire resistance to pesticides, which significantly reduces the economic efficiency of pesticides.

One of the promising areas in the fight against insect pests is biopesticides. These are biological products based on bacteria, fungi, plants, and nematodes that fight pests without harming agriculture and humans. These biological products are obtained from extracts of vegetable oils or by breeding specialized bacteria, entomopathogenic fungi, viruses, as well as ethnomopathogenic nematodes.

Entomopathogenic nematodes (EPN) are roundworms, obligate parasites of insects. They are capable of infecting more than a thousand species of insects. These nematodes spread over all continents except Antarctica. Soil composition, temperature, and availability of suitable carriers are considered important factors influencing their distribution [4].

A distinctive feature of this group of worms is their mutualistic symbiosis with *Photorhabdus* and *Xenorhabdus* bacteria. EPN affects both larval and adult stages of insects. The life cycle of this nematode begins with the penetration of a young infecting larva into the body cavity of the insect through the natural openings of the body: mouth, anus, spiracles or scrawny areas of the cuticle. After the immersing them into an insect body, the nematode penetrates into the hemocele, where it releases symbiotic bacteria that live in the intestines of the worm. These bacteria multiply at a high rate, releasing various toxins and hydrolytic exoenzymes, which cause the transient death of the carrier after two to three days. After that, nematodes continue their development already in the corpse for several generations. The key feature of nematodes is that even when single individuals of nematodes enter the insect body, after 10–20 days, hundreds of thousands of young individuals enter the environment, where they are able to exist for long periods of time without nutrition while waiting for a new host [5].

The most studied representatives are nematodes of the families Steinernematidae and Heterorhabditidae due to their presence of the most promising biocontrol agents for use. Previous results have shown that the use of two families of Steinernematids and Heterorhabditids in combination to control the fruit weevil population can reduce their number to 70–90 %. In addition, a number of studies have recorded positive results on populations of scoop larvae [6]. A potential source of infection in the spring may be wintering larvae experiencing unfavorable conditions under the bark of trees, leaf piles or in wooden containers for apples. EPN have a high level of effectiveness in combating this threat. Thus, in the study of Unruh and Lacey, 2001 and Lacey et al. 2006a, it was possible to decrease the population of wintering larvae of the apple moth to 90 % [7].

One of the most important agricultural crops affected by insect pests in Kazakhstan is potatoes. Thus, in 2021, the potato harvest amounted to 1 million 31 thousand 165 tons on the sown territory with a total area of 35.6 thousand hectares. Thus, the average yield is estimated at 29 t/ha [8]. For this reason, there is a need for methods of controlling potato pests — wireworms.

Wireworms are the larvae of click beetles. Imagos are usually buried in the soil for the winter and lay eggs in late spring-early summer. After that, the hatched larvae live in the soil for few years before pupating. During the larval cycle, wireworms are capable of causing enormous damage to the crop, which can be avoided by timely use of biological preparations based on EPN. In Russia, similar studies were conducted on wireworms with a noted high biological activity of nematodes against this pest using several different drugs based on EPN [9].

The goal of this study is to explore aboriginal entomopathogenic nematodes efficacy against common potato and vegetable pest larvae of *Agriotes obscurus* from different sides of northern Kazakhstan.

Experimental

Study sites. Experiments were conducted in the laboratory of LLP “Scientific-Analytical Center “Bio-medpreparat” in Stepnogorsk, Akmola region in 2020. To isolate entomopathogenic nematodes, soil samples were collected in various habitats (forests, agricultural fields, grasslands) in Akmola and Pavlodar regions in May–June 2020. Samples were taken within 200 m from the road. The area of each sampling site was 2–4 m², 800 g of soil was collected from each site, which was placed in a plastic bag and stored at a temperature of 10 to 15 °C.

Entomopathogenic nematodes extraction method. 250 g of the sample from the soil thoroughly mixed in the bag was placed in a 300-milliliter plastic container. The remaining soil was stored at 4 °C, and a second isolation of nematodes was carried out after 2–4 weeks. Six *Galleria mellonella* larvae of the last age stage were placed in each container, and all containers were stored at room temperature 25 ± 2 °C. After 5 days, each container was inspected and dead or pupating larvae were removed, and live larvae were left in the soil. An equivalent number of larvae were added to replace the removed ones. Each dead larva was washed with distilled water, sterilized by immersion in 70 % alcohol and placed on filter paper in a Petri dish.

Corpses of *G. mellonella* larvae that showed symptoms of potential nematode infection, such as discoloration, were placed in the modified White traps, on which they were kept at room temperature. White traps were monitored daily for the appearance of nematodes. Then, 300 ml of distilled water was added to each cup to provide moisture to emerging nematodes. Each Petri dish was covered with a film and stored at 25 ± 2 °C [10]. Nematodes isolated from White traps were used to infect a group of *G. mellonella* larvae to check their pathogenicity.

Wireworm collection method. Larvae of the seed nutcracker (*A. obscurus*) for experiments were collected from May to August 2020 in potato fields of Pavlodar and Akmola regions. Larvae were collected using traps for stocking. Nylon stockings were filled with half a cup of wheat grain or a mixture of wheat grain and barley. These baits were soaked in water for 24 hours and buried 0.15–0.2 m below the soil surface in fields infected with wireworm. After 2 weeks, the traps were collected from the field in plastic buckets and brought back to the laboratory for extraction. The larvae were sorted from the traps using Berlese funnels. The collected wireworm larvae were stored in an incubator at 10 °C in plastic cups with sterilized sandy loam soil, soaked wheat seeds were used as feed. The cups were sprayed once a week to keep soil moist. The collected larvae were of almost all larval stages. The length of wireworm larvae ranged from 0.5 to 2.2 cm. In the experiments, medium-sized wireworm larvae (0.8–1.5 cm, more than one year old) were used.

The larvae were identified based on their distinctive morphological features, and the age was determined by measuring the width of the head capsule [11]. Wireworms were kept in plastic containers with sterile soil at 10 °C and fed slices of fresh potatoes for 1 week to remove unhealthy larvae before use in experiments.

Efficacy of EPNs against *A. obscurus* larvae. 25 g of soil was placed in a Petri dish with a diameter of 5 cm. Before use, the soil was sterilized in an autoclave at 121 °C and 1.2 atm for 1 hour and left at room temperature for at least two weeks for acclimatization. One wireworm larva with a piece of potato (1 cm³) as food was placed in each cup.

The number of nematodes in the biotest for all 15 isolates was 200 EPN/cm². 1 ml of EPN suspension was pipetted onto the soil surface, and 1 ml of tap water without nematodes was introduced into the control cups. The final soil moisture was brought to 15 % (by volume/wt). There were 10 repeats for all 15 EPN isolates. The biotest was repeated five times on different dates from August to November 2020. The cups were placed in trays with holes in the lids for aeration, and then placed in an incubator at 22 °C and 75 % relative humidity in the dark.

The mortality of larvae was monitored daily for a month. During the laboratory bioanalysis described above, the dead larvae found during daily observations were collected and washed with water, and then transferred to separate Petri dishes (5 cm in diameter) lined with wet filter paper for 2–3 days to allow EPN to multiply. The number of penetrated EPNs was defined as the number of invasive juveniles found inside each wireworm larva. To do this, the dead larvae were opened with a scalpel in a mixture of water and Ringer's solution (50:50) in a Petri dish (diameter 9 cm). The contents were poured onto a slide for counting nematodes and the number of adult nematodes was counted. In total, 20 dead wireworm larvae were examined for all EPN strains.

Results and Discussion

Of 80 soil samples, entomopathogenic nematodes were detected in 15 (18.75 %): 13 were isolated from coniferous and mixed forests; 2 from soils of agricultural fields: 1 from a potato field, 1 from a field sown with perennial grasses. Nematodes were identified as *Steinernematids* based on the color of the corpses (cream, ochre color) and the morphology of males.

It was believed that the larvae of *G. mellonella*, which contained entomopathogenic nematodes, were killed by these pathogens. No larvae killed by nematodes were found in the control group, which confirms that there was no previous contact between hosts and pathogens. All isolates caused 100 % death of larvae, demonstrating their pest control potential.

Next, EPN screening was carried out using the larvae of the nutcracker beetle (Coleoptera: *Elaterridae*) — wireworm. Wireworms are economically important soil-dwelling pests that infect the underground parts of many field crops around the world. Wireworms are omnivorous pests that feed on seeds, roots, stems, tubers, and underground parts of plants, inhibiting plant growth, causing wilting and death of plants and reducing crop yields. Crop losses from wireworms living in the soil can reach 25 % [12].

Figure 1 illustrates a Petri dish with larvae infected with EPN. Figure 2 illustrates a snapshot of EPN observed under a stereomicroscope in an autopsied deceased *G. mellonella* larva.



Figure 1. Petri dish with *G. mellonella* larvae infected with EPN

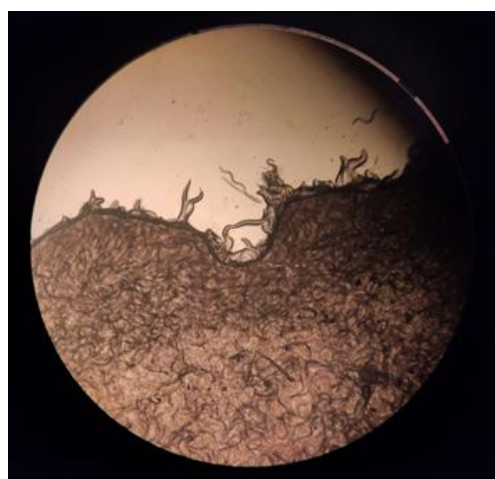


Figure 2. A snapshot of EPN observed under a stereomicroscope in an autopsied deceased *G. mellonella* larva

According to Traugott et al. [13], high species diversity, soil habitat, long life expectancy of larvae underground, poorly studied taxonomy and life history of wireworms make it difficult to control them. Figure 3 demonstrates the results of wireworm mortality observed within 28 days after infection with isolated EPN.

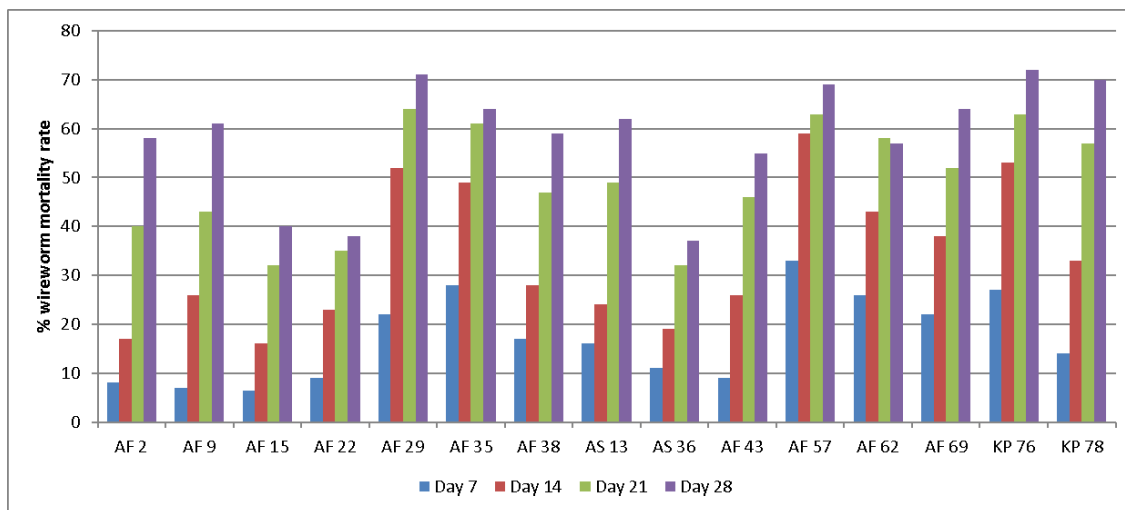


Figure 3. Wireworm mortality observed within 28 days after infection

We found that the wireworm is sensitive to all EPN. Of the 15 EPN isolates tested, 12 were the most virulent in relation to wireworm: about 50–70 % mortality in laboratory biotests; 3 EPN isolates (AF 15, AF 22 and AS 36) could not cause more than 40 % of the average mortality of larvae. Mortality during control treatment was absent and therefore was not indicated in the graph.

Wireworm mortality 7 days after infection was significantly lower than mortality at 14, 21, and 28. Significant differences were found between 14 and 21 and between 21 and 28 days in wireworm mortality. Mortality gradually increased over time, and even the most effective EPN needed at least 14 days after treatment to cause mortality of 50 % or more. Only isolates AF 29, AF 57, and KP 76 were able to cause 50 % mortality of larvae on day 14 after treatment. In variants with isolates AF 35, AF 62, AF 69, and KP 78, mortality reached 50 % for only 21 days after treatment. For AF 15, AF 22, and AS 36, mortality did not reach 50 % until 28 days after treatment.

The tendency for significant differences between EPN isolates on day 28 after treatment was similar to 21 days after treatment. The only difference was an increase in mortality for all variants of EPN isolates. In the variants with isolates AF 29, KP 76, and KP 78, the mortality of wireworms on the 28th day after treatment increased and reached 70–72 %.

The results showed that the isolates AF 29, AF 57, and KP 76 have the potential for biological control of the number of larvae of the seed nutcracker. The high infectivity of EPN tested in our study is consistent with the data of Ansari et al. [14] and Morton and Garcia-del-Pino [15], who reported 50 and 50–75 % mortality of *Agriotes spp.*, respectively.

The survival of the larvae of click beetles (*Elateridae*) to infection with EPN was associated with the existence of a thick brush of hair in the oral cavity, a muscular structure covering the anus, valvular spiracles, or heavily sclerotized integuments [15]. These structures may explain the difficulty of penetration of some EPN into host body. Thus, size may be important for the penetration of invasive larvae through insect barriers. The above-mentioned factors may be crucial for infection with wireworm nematodes, since some studies have proved that nematode strains that do not have virulence against live wireworms are, nevertheless, able to penetrate dead samples.

Throughout the analysis, high mobility of wireworms exposed to EPN was observed, and these larvae made fewer holes in potato slices than in control cups. Arrington et al. [16] also reported that EPN introduced by drip irrigation reduces the severity of damage to sweet potatoes caused by wireworms, compared with control. Avoiding infected areas is a common behavioral defense used by insects against EPN. Since wireworms are attracted to plants for feeding, applying EPN ambushes around the roots can help to reduce the damage to roots and tubers caused by these insects. Nevertheless, this assumption should be further considered in future studies.

The concentrations of EPN per larva used in our biotest were intentionally high to achieve high mortality of wireworms. The main reason for using relatively high concentrations of nematodes was the low mortality of wireworms when using lower concentrations in preliminary biotests. Some previous studies have reported high concentrations to achieve significant control over wireworm populations.

The results showed that both the concentration used, and the time required for nematodes to infect hosts is the main factors affecting the effectiveness of EPN against various insects. Some other factors affecting the effectiveness of EPN have already been reported, such as the stages of development and immaturity of insects, species, or strains of nematodes, as well as environmental variables such as temperature, aeration, humidity, soil type, food availability and exposure time. Soil characteristics such as texture, moisture, and pH play an important role in the effectiveness of EPN. Identifying factors, including nematode dose and application time, can improve efficiency in the field.

Conclusions

We found that the wireworm is sensitive to all isolates. Of the 15 isolates tested, 12 turned out to be the most virulent in relation to wireworm: about 50–70 % mortality in laboratory biotests; 3 isolates (AF 15, AF 22 and AS 36) could not cause more than 40 % of the average mortality of larvae. There was no mortality during the control treatment. The results showed that the isolates AF 29, AF 57, and KP 76 are good candidates for further studies as a possible biocontrol agent against *A. obscurus*. Identifying factors such as nematode dose and application time can improve efficiency in the field.

Acknowledgements

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP08053330).

References

- 1 Fiorillo, A., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Saccardo, F., Colla, G., & Cirica, B. (2005). Yield and disease tolerance of potato cultivars grown under conventional and organic cultural management practices. *Acta Hort.*, 684; 79–83.
- 2 Shapiro-Ilan, D.I., Cottrell, T.E., Mizell, R.F., Horton, D.L., & Zaid, A. (2015). Field suppression of the peachtree borer, *Synanthedon exitiosa*, using *Steinernema carpocapsae*: Effects of irrigation, a sprayable gel and application method. *Biological Control*, 82; 7–12.
- 3 Askary, T.H., & Martinelli, P.R.P. (2015). *Biocontrol Agents of Phytonematodes*. Wallingford: CAB International, 446–454.
- 4 Bedding, R.A., & Molyneux, A.S. (1982). Penetration of insect cuticle by infective juveniles of *Heterorhabditis* spp. (Heterorhabditidae: Nematoda). *Nematologica*, 28; 354–359.
- 5 Peters, A., & Ehlers, R.U. (1994). Susceptibility of leatherjackets (*Tipula paludosa* and *Tipula oleracea*; Tipulidae: Nematocera) to the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 63, 163–171.
- 6 Gumus, A., Karagoz, M., Shapiro-Ilan, D.I., & Hazir, S. (2015). A novel approach to biocontrol: release of live insect hosts pre-infected with entomopathogenic nematodes. *J. Invertebr. Pathol.*, 130; 56–60.
- 7 Dolinski, C., Shapiro-Ilan, D.I. & Lewis, E.E. (2015). *Nematode Pathogenesis of Insects and Other Pests — Ecology and Applied Technologies for Sustainable Plant and Crop Protection*. Cham: Springer Publishing, 207–230.
- 8 Shapiro-Ilan, D.I., Lewis, E.E., Behle, R.W., & McGuire, M.R. (2001). Formulation of entomopathogenic nematode infected cadavers. *Journal of Invertebrate Pathology*, 78; 17–23.
- 9 Shapiro-Ilan, D.I., Hazir, S., & Leite, L. (2015). Viability and virulence of entomopathogenic nematodes exposed to ultraviolet radiation. *J. Nematol.*, 47; 184–189.
- 10 Yadav, S., Sharma, H.K., Siddiqui, A.U., & Sharma, S.K. (2015). In vitro mass production of *Steinernema carpocapsae* on different artificial media. *Indian Journal of Nematology*, 45; 123–124.
- 11 Morales-Ramos, J., Rojas, G., & Shapiro-Ilan, D.I. (2014). *Mass Production of Beneficial Organisms*. San Diego: Academic Press, 321–356.
- 12 Ilan, T., Kim-Shapiro, D.B., Bock, C., & Shapiro-Ilan, D.I. (2013). The impact of magnetic fields, electric fields and current on the directional movement of *Steinernema carpocapsae*. *Int. J. Parasitol.*, 43; 781–784.
- 13 Traugott, M., Benefer, C.M., Blackshaw, R.P., van Herk, W.G., & Vernon, R.S. (2015). Biology, ecology, and control of elaterid beetles in agricultural land. *Ann. Rev. Entomol.*, 60; 313–334.
- 14 Ansari, M.A., Evans, M., & Butt, T.M. (2009). Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control. *Crop Prot.*, 28; 269–272.

15 Morton, A., & Garcia-del-Pino, F. (2007). Effectiveness of different species of entomopathogenic nematodes for biocontrol of the Mediterranean flatheaded root borer, *Capnodis tenebrionis* (Linne) (*Coleoptera: Buprestidae*) in potted peach tree. *J Invertebr Pathol.*, 97; 128–133.

16 Arrington, A.E., Kennedy, G.G., & Abney, M.R. (2016). Applying insecticides through drip irrigation to reduce wireworm (*Coleoptera: Elateridae*) feeding damage in sweet potato. *Pest Manag Sci.*, 72; 1133–1140.

А.К. Шибаева, В.М. Шайхутдинов, Б.М. Мырзабаев

Солтүстік Қазақстанның энтомопатогенді нематодтардың инсектицидтік потенциалы

Зерттеудің мақсаты — картоп зиянкестерімен күресу үшін жыртқыш нематодтар негізінде биологиялық өнімді жасау. Энтомопатогенді нематодтардың 15 изоляты анықталған: 13-і қылқан жапырақты және аралас ормандардан; 2-еуі ауыл шаруашылығы алқаптарының топырағынан, яғни 1-еуі картоп алқабынан, 1-еуі көп жылдық шөптер егілген алқаптан. Нематодтар *Galleria mellonella* дернәсілдерінің мәйіттерінің түсі мен аталықтарының морфологиясы негізінде *Steinernematids* ретінде сәйкестендірілген. Энтомопатогенді нематодтардың изоляттары Ақмола және Павлодар облыстарының әртүрлі мекендеу орындарынан (орман, егіншілік алқаптары, шабындықтар) табылған. Қоңыз тұқымының (*Agriotes obscurus*) дернәсілдерінің изоляттарына скрининг жүргізілді. Ызылдауық қоңыздың барлық изоляттарға сезімтал екені анықталған. Сынақталған 15 изоляттың 12-сі ызылдауық қоңызға қатысы бойынша ең вирулентті болып шықты: зертханалық биоталдауларда өлім-жітім шамамен 50-70%; 3 изолят (AF 15, AF 22 және AS 36) дернәсілдердің орташа өлімінің 40%-дан астамын тудыруы мүмкін емес. Сыналған 15 изоляттың 12-сі сым құртына қатысты вирулентті болып шықты: зертханалық биотесттердегі өлім мөлшері шамамен 50–70 %; 3 изолят (AF 15, AF 22 және as 36) құрттардың өлімін 40 %–дан астырмады. Скрининг нәтижелері бойынша AF 29, AF 57 және KP 76 изоляттары *A. obscurus* қарсы ықтимал биобақылау агенті ретінде одан әрі зерттеуге жақсы үміткер екенін көрсетті.

Кілт сөздер: энтомопатогендік нематодтар, *Steinernematids*, *Agriotes obscurus*, *Galleria mellonella*, биологиялық бақылау.

А.К. Шибаева, В.М. Шайхутдинов, Б.М. Мырзабаев

Инсектицидный потенциал энтомопатогенных нематод Северного Казахстана

Целью исследования является создание биопрепарата на основе хищных нематод для борьбы с вредителями картофеля. Выделено 15 изолятов энтомопатогенных нематод: 13 выделено из хвойных и смешанных лесов; 2 из почв сельскохозяйственных полей: 1 с картофельного поля, 1 с поля, засеянного многолетними травами. Нематоды были идентифицированы как *Steinernematids* на основании цвета трупов личинок *Galleria mellonella* и морфологии самцов. Были выделены изоляты энтомопатогенных нематод из различных местообитаний (леса, сельскохозяйственные поля, луга) Акмолинской и Павлодарской областей. Был проведен скрининг изолятов на личинках семенного шелкоуна (*Agriotes obscurus*). Установлено, что проволочник чувствителен ко всем изолятам. Из 15 протестированных изолятов 12 оказались наиболее вирулентными по отношению к проволочнику: около 50–70 % смертности в лабораторных биотестах; 3 изолята (AF 15, AF 22 и AS 36) не могли вызвать более 40 % средней смертности личинок. Результаты скрининга показали, что изоляты AF 29, AF57 и KP76 являются хорошими кандидатами для дальнейших исследований в качестве возможного средства биоконтроля против *A. obscurus*.

Ключевые слова: энтомопатогенные нематоды, *Steinernematids*, *Agriotes obscurus*, *Galleria mellonella*, биологический контроль.

G.J. Sultangazina*, M.Y. Steshenko, Y.O. Novak

A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan

*Corresponding author: gul_sultan@mail.ru

Cenopopulations of *Adonis wolgensis* Stev. in the conditions of Northern Kazakhstan

The article presents the study results on the cenopopulations of *Adonis wolgensis* in Northern Kazakhstan (2019–2021). The materials are obtained as a result of field research; literary data are considered. Based on detailed route studies, the structure of cenopopulations is given. Nine cenopopulations located in the Kostanay region are studied. Populations of *A. wolgensis* occupy areas from 300 to 1000 m². The largest total projective cover is noted in forest clearings and along the outskirts of forests. The proportion of *A. wolgensis* in the total projective cover there is 1–5 %. The studied cenopopulations are characterized by contagious and random types of distribution of individuals in space; a uniform (regular) type is not recorded. An assessment of the vitality type of cenopopulations shows that five of the studied cenopopulations have a normal vitality type and four flourishing ones. Cenopopulations that are in an oppressed, depressed, and infertile states are not found.

Keywords: *Adonis wolgensis* Stev., rare plants, cenopopulation, Northern Kazakhstan, total projective cover.

Introduction

Conservation of the biodiversity of animal and plant species, communities and ecosystems is an integral part of the Concept of Humanity's Transition to the Principles of Sustainable Development. Within the framework of this problem, it is recognized that the protection of life on Earth is not a narrow task of certain groups and circles; it is the task of all mankind and, at the same time, a condition for its survival on the planet [1].

Adonis wolgensis Stev. listed in the Red Book of Kazakhstan (category III "Reducing species") [2]. A.P. Poshkurlat (2000) provides information about the presence of *A. wolgensis* in the mountains of Karkaraly, Ortau, in the southern part of the Mugodzhar Mountains, near Lake Zaisan on Tarbagatai. A.P. Gamayunova (1961) cites *A. wolgensis* for the Spurs of the Common Syrt, Tobolsk-Ishimsky, Semipalatinsk upland, Caspian floristic regions, Western and Eastern small hills. Yu.A. Kotukhov (2005) cites it for the Western and Karbinsky Altai. Z.V. Karamysheva and E.I. Rachkovskaya (1973) cite it for the entire steppe part of the Kazakh uplands [3].

Experimental

Study of cenopopulations of *A. wolgensis* was held on the territory of Northern Kazakhstan in 2019–2021. To study cenopopulations (CP), areas with a high density of flowering individuals were selected. With the help of GPS, the boundaries of the CP were determined. A floristic description of the CP was carried out, indicating the number of species, total and partial projective cover (TPC, %).

9 cenopopulations of *A. wolgensis* located in the Kostanay region were studied. The herbarium material is stored at Department of Biology and Chemistry of the A. Baitursynov Kostanay Regional University.

Results and Discussion

A. wolgensis is a short-rod herbaceous polycarpic plant, in Northern Kazakhstan it is represented by three morphotypes: steppe, meadow-steppe, and forest, which have significant morphological differences in the height of the shoots and the shape of the leaf blades [4].

9 cenopopulations of *A. wolgensis* were studied on the territory of the Auliekol district of the Kostanay region.

CP-1. Kostanay region district of Amankaragai village, Amankaragai forestry, quarter 39, N 52.412135, E 64.041553. Glade of pine-birch forest. Population area 900 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 1,0 %. Population density 21 psc/100 m². Number — 189 individuals. The type of distribution of individuals in space is contagious. The vitality type of the population is normal (according to the Brown-Blanque scale).

Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, *Gypsophila paniculata* L., *Otites wolgensis* (Hornem.) Grossh., *Rumex acetosa* L., *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze, *Fragaria viridis* (Duchesne) Weston, *Potentilla arenaria* Borkh., *Rosa majalis* Herrm., *Spiraea hypericifolia* L., *Oenothera biennis* L., *Artemisia laciniata* Willd., *Thymus marschallianus* Willd., *Allium tulipifolium* Ledeb., *Allium angulosum* L., *Carex caryophylla* Latourr., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) Beauv., *Plantago media* L., *Cichorium intybus* L., *Iris pumila* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Tulipa biebersteiniana* Schult. & Schult.f.

CP-2. Kostanay region, Amankaragai forestry, quarter 36, N 52.412893, E 63.981660. Glade in a pine forest. Population area 1000 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 4,0 %. Population density 37 pcs/100 m². Number — 370 individuals. The type of distribution of individuals in space is random. The vitality type of the population is prosperous. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, *Otites wolgensis* (Hornem.) Grossh., *Rumex acetosa* L., *Fragaria viridis* (Duchesne) Weston, *Potentilla arenaria* Borkh., *Spiraea hypericifolia* L., *Artemisia laciniata* Willd., *Thymus marschallianus* Willd., *Allium tulipifolium* Ledeb., *Allium angulosum* L., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Plantago media* L., *Iris pumila* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Achillea asiatica* Serg., *Artemisia campestris* L., *Centaurea scabiosa* L., *Hieracium umbellatum* L., *Onosma simplicissima* L., *Veronica longifolia* L., *Gagea fedtschenkoana* Pascher, *Carex ericetorum* Pollich.

CP-3. Kostanay region district of Zhilgorodok village, Amankaragai forestry, 121 quarter, N 52.380174, E 64.063696. Edge of a birch forest. Population area 800 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 2,0 %. Population density 34 pcs/100 m². Number — 272 individuals. The type of distribution of individuals in space is contagious. The vitality type of the population is prosperous. Species that make up the coenotic environment: *Betula pendula* Roth, *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, *Rumex acetosa* L., *Fragaria viridis* (Duchesne) Weston, *Potentilla arenaria* Borkh., *Spiraea hypericifolia* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia frigida* Willd., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Plantago media* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Achillea asiatica* Serg., *Veronica longifolia* L., *Spiraea hypericifolia* L., *Sedum telephium* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Rosa majalis* Herrm., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Valeriana tuberosa* L., *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., *Tulipa biebersteiniana* Schult. & Schult. f., *Plantago major* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus, *Nonea rossica* Stev., *Achillea millefolium* L., *Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Psephellus sibiricus* (L.) Wagenitz.

CP-4. Kostanay region, Novonezhinsk forestry, quarter 149, N 52.435072, E 63.968779, *h* = 213 m above sea level. Shrubbed edge of a pine forest. Population area 800 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 3,0 %. Population density 26 pcs/100 m². Number — 208 individuals. The type of distribution of individuals in space is random. The vitality type of the population is normal. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, *Otites wolgensis* (Hornem.) Grossh., *Rumex acetosa* L., *Spiraea hypericifolia* L., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) Beauv., *Iris pumila* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Achillea asiatica* Serg., *Veronica spicata* L., *Allium angulosum* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski.

CP-5. Kostanay region district of the village of Ozerny, Novonezhinskoye forestry, quarter 37, N 52.493945, E 64.080103, *h* = 213 m above sea level. Glade in a pine-birch forest. Population area 500 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 1,0 %. Population density 36 pcs/100 m². Number — 180 individuals. The type of distribution of individuals in space is random. The vitality type of the population is normal. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Artemisia campestris* L., *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, *Otites wolgensis* (Hornem.) Grossh., *Spiraea hypericifolia* L., *Iris pumila* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Achillea asiatica* Serg., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., *Echinops sphaerocephalus* L., *Potentilla arenaria* Borkh., *Gypsophila paniculata* L., *Medicago falcata* L., *Xanthoselinum alsaticum* (L.) Schur, *Carex supina* Willd. ex Wahlenb., *Jacobaea erucifolia* (L.) Gaertn., Mey. et Scherb.

CP-6. Kostanay region, Kalinin forestry, quarter 92, N52.427995, E 64.085151. Depression in a pine forest overgrown with birches. Population area 600 m², TPC — 30 %, *A. wolgensis* — 60 %. Population density 40 pcs/100 m². Number — 240 individuals. The type of distribution of individuals in space is random. The vitality type of the population is prosperous. Species that make up the coenotic environment: *Betula pendula* Roth, *Tulipa biebersteiniana* Schult. & Schult. f., *Poa pratensis* L., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Equisetum hyemale* L.

CP-7. Kostanay region, Kalinin forestry, quarter 69, N 52.454605, E 64.376370. Outskirts of a pine forest. Population area 300 m², TPC — 90 %, *A. wolgensis* — 1,0 %. Population density 20 pcs/100 m². Num-

ber — 60 individuals. The type of distribution of individuals in space is contagious. The vitality type of the population is prosperous. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Gypsophila paniculata* L., *Filipendula stepposa* Juz., *Spiraea hypericifolia* L., *Astragalus testiculatus* Pall., *Achillea asiatica* Serg., *Artemisia campestris* L., *Echinops sphaerocephalus* L., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) Beauv., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Stipa pennata* L.

CP-8. Kostanay region, Basaman forestry, N 52.389946, E 63.803410. Glade in a pine forest. Population area 800 m², TPC — 100 %, *A. wolgensis* — 5,0 %. Population density 33 pcs/100 m². Number — 264 individuals. The type of distribution of individuals in space is contagious. The vitality type of the population is normal. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Rumex acetosa* L., *Fragaria viridis* (Duchesne) Weston, *Spiraea hypericifolia* L., *Allium angulosum* L., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Plantago media* L., *Iris pumila* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Achillea asiatica* Serg., *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze, *Rosa majalis* Herrm., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Veronica incana* L.

CP-9. Kostanay region, Ubagan forestry, quarter 143, N 52.294367, E 64.542288. Sparse pine planting. Population area 400 m², TPC — 20 %, *A. wolgensis* — 50 %. Population density 25 pcs/100 m². Number — 100 individuals. The type of distribution of individuals in space is contagious. The vitality type of the population is normal. Species that make up the coenotic environment: *Pinus sylvestris* L., *Poa pratensis* L., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv.

Populations of *A. wolgensis* occupy areas from 300 (CP-7) to 1000 m² (CP-2). The largest total projective cover was noted in forest clearings and along the outskirts of forests 90–100 %. The proportion of *A. wolgensis* in the total projective cover here is 1–5 % (CP-1, CP-2, CP-3, CP-4, CP-5, CP-7, CP-8). In other habitats (CP-6 and CP-9), the total projective cover is 30 and 20 %, respectively. The share of *A. wolgensis* in the total projective cover of CP-6 and CP-9 is 60 and 50 %, respectively, which are the largest proportions of *A. wolgensis* in the total projective cover. However, such a large percentage of the share of *A. wolgensis* in the total projective cover is due not to the significance of its growth in this area and a large number of individuals, but in general to a small amount of vegetation in these areas, represented by 3–5 plant species, and a low percentage of the total projective cover. This effect is probably caused by the high shading of these areas and the soil cover here with a thick layer of dead leaves and needles (CP-6 — a depression in a pine forest overgrown with birches, CP-9 — a sparse pine plantation).

Conclusions

The highest density of individuals was noted in CP-6 (40 individuals per 100 m²), CP-2 (37 pcs/100 m²), CP-5 (36 pcs/100 m²), the lowest — in CP-1 (21 pcs/100 m²), CPU-7 (20 pcs/100 m²). The number of individuals varies from 370 (CP-2) to 60 (CP-7).

The studied cenopopulations are characterized by contagious (CP-1, CP-3, CP-7, CP-8, CP-9) and random (CP-2, CP-4, CP-5, CP-6) types of distribution of individuals in space, the uniform (regular) type is not fixed at all.

The assessment of the vitality type of cenopopulations on the comparative scales of the vital state of plants (on the Brown-Blanque scale) shows that the studied cenopopulations have normal vitality (CP-1, CP-4, CP-5, CP-8, CP-9) and prosperous types (CP-2, CP-3, CP-6, CP-7). Cenopopulations that are in an oppressed, depressed, and non-fruitful states were not found.

References

- 1 Концепция по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия Республики Казахстан до 2030 года. — Астана, 2015. — 75 с.
- 2 Красная книга Республики Казахстан. — Т. 2. Растения. — Астана: Арт Print XXI, 2014. — 452 с.
- 3 Султангазина Г.Ж. Редкие виды растений Северного Казахстана / Г.Ж. Султангазина, А.Н. Куприянов, С.В. Боронникова. — Костанай, 2020. — 260 с.
- 4 Sultangazina G.J. The structure of *Adonis wolgensis* Stev. Coenopopulation in the conditions of Northern Kazakhstan / G.J. Sultangazina, A.N. Kuprijanov, J.A. Kuprijanov, M.Y. Steshenko // Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography. — 2020. — № 3 (99). — P. 134–140.

Г.Ж. Сұлтанғазина, М.Ю. Стешенко, Ю.О. Новак

Солтүсті Қазақстан жағдайындағы *Adonis wolgensis* Stev. ценопопуляциясының құрылымы

Мақалада Солтүстік Қазақстандағы *Adonis wolgensis* ценопопуляцияларын зерттеу нәтижелері берілген (2019–2021 жж.). Материалдар далалық зерттеулер нәтижесінде алынған, әдеби мәліметтер ескерілген. Егжей-тегжейлі бағыттық зерттеулер негізінде ценопопуляциялардың жас құрылымы келтірілген. Ақмола, Павлодар, Қостанай облыстарында орналасқан сегіз ценопопуляция зерттелді. *A. wolgensis* қысқа-өзекті шөпті поликарпик, ал Солтүстік Қазақстандағы *A. wolgensis* ценопопуляциясы негізгі үш мекендейтін жерге: дала қоғамдастықтары, шалғынды-дала, орманды деп топтастырылған. *A. wolgensis* ценопопуляциясын шығыста Екібастұздан, батыста Қостанай облысына дейін ендік бағытта зерттеу барысында дала экотоптарындағы қалпына келтіру индексі өте жоғары екенін анықталды. Қалған ценопопуляция, ол бірліктен әлдеқайда аз. Әсіресе, орманды жерлерде аз кездеседі. Жас жағдайының спектрі бойынша көптеген ценопопуляциялар қалыпты сипатқа ие және піскендер қатарына жатады. Бұл ценопопуляциясының құрылымына экологиялық және антропогендік факторлардың теріс әсерінің жоқтығын растайды және популяциялардың жаңартылуы мен сақталуын қамтамасыз етеді.

Кілт сөздер: *Adonis wolgensis* Stev., сирек өсімдіктер, ценопопуляция, Солтүстік Қазақстан, жалпы проекциялық жамылғы.

Г.Ж. Сұлтанғазина, М.Ю. Стешенко, Ю.О. Новак

Ценопопуляции *Adonis wolgensis* Stev. в условиях Северного Казахстана

В статье приведены результаты изучения ценопопуляций *Adonis wolgensis* в Северном Казахстане (2019–2020 гг.). Материалы получены в результате полевых исследований, учтены литературные данные. На основании детально-маршрутных исследований приведена структура ценопопуляций. Изучено девять ценопопуляций, расположенных в Костанайской области. Популяции *A. wolgensis* занимают площадь от 300 до 1000 м². Наибольшее общее проективное покрытие отмечено на лесных полянах и по окраинам лесов. Доля *A. wolgensis* в общем проективном покрытии здесь составляет 1–5 %. Изученным ценопопуляциям свойственны контагиозный и случайный типы распределения особей в пространстве, не зафиксирован равномерный (регулярный) тип. Оценка виталитетного типа ценопопуляций показала, что пять изученных ценопопуляций имеют нормальный виталитетный тип и четыре процветающих. Ценопопуляций, находящихся в очень угнетенном, угнетенном состояниях и неплодоносящих, не обнаружено.

Ключевые слова: *Adonis wolgensis* Stev., редкие растения, ценопопуляция, Северный Казахстан, общее проективное покрытие.

References

- 1 (2015). *Kontseptsiia po sokhraneniui i ustoichivomu ispolzovaniui biologicheskogo raznoobraziia Respubliki Kazakhstan do 2030 goda [Concept for the Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity of the Republic of Kazakhstan until 2030]*. Astana [in Russian].
- 2 (2014). *Krasnaia kniga Respubliki Kazakhstan. T. 2. Rasteniia [The Red book of the Republic of Kazakhstan. Vol. 2. Plants]*. Astana: Art Print XXI [in Russian].
- 3 Sultangazina, G.J., Kuprijanov, A.N., & Boronnikova, S.V. (2020). *Redkie vidy rastenii Severnogo Kazakhstana [Rare plant species of Northern Kazakhstan]*. Kostanai [in Russian].
- 4 Sultangazina, G.J., Kuprijanov, A.N., Kuprijanov, J.A., & Steshenko, M.Y. (2020). The structure of *Adonis wolgensis* Stev. Ceno-population in the conditions of Northern Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography*, 3 (99); 134–140.

Н.Е. Төлеген^{*}, Д.Ф. Оңдасынова, Қ. Бахытұлы, А.А. Ибатова

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
**Хат-хабарларға арналған автор: nurkhanymt@gmail.com*

Батыс Қазақстан кен орындарының мұнайпласт суларынан оқшауланған микроорганизмдердің таксономиялық әртүрлілігін шетелдік мұнай кен орындарымен салыстыру

Мақалада әртүрлі мұнай кен орындарының мұнайпласт суларынан оқшауланған микроорганизмдер сипатталған, олар микробтық мұнай бергіштікті арттыру (MEOR) әдістерін зерттеудің негізгі объектілері болып табылады. Микроорганизмдер мұнайды алу үшін потенциалды пайдалы бірқатар метаболиттерді (биомасса, биосурфактанттар, биокышқылдар, биоеріткіштер, биополимер, биогаз) бөліп шығарады. Бұл метаболиттер мұнайдың тұтқырлығын және беттік белсенді зат ретінде мұнай мен су арасындағы фазааралық үйкелісті азайтуға, оның кеуектілігі мен өткізгіштігін арттыруға көмектеседі. Сонымен қатар үш белсенді «Жетібай», «Құлсары» және «Ақінген» кен орындары ұңғымаларының және бірнеше жыл бойы әлемнің әртүрлі мұнай кен орындарының мұнайпласт сулары микроорганизмдерінің таксономиялық биоәртүрлілігі туралы баяндалған. Мұнай микроорганизмдерінің маңызы, оларды зерттеу, MEOR процестерінің маңызы, халықаралық және Батыс Қазақстан мұнайпласт суларынан оқшауланған мұнай микробтарын өзара салыстыру және осы микроорганизмдердің болашағы туралы мәліметтер жинақталған. Сондай-ақ мақалада *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. сияқты қоршаған ортаның қолайсыз өзгерістеріне қарсы, иммунитеті жоғары микроорганизмдер туралы ақпарат берілген. Бұл түрлер беттік белсенді заттар, газдар, спирттер, қышқылдар және биополимерлер бөліп шығарады. Батыс Қазақстандағы мұнай кен орындары микроорганизмдерінің таксономиялық биоалуантүрлілігінің ұқсастығы және олардың келешегі, сонымен қатар алыс елдердің мұнай кен орындарындағы микроағзаларды MEOR процестерінде пайдалану талқыланған.

Кілт сөздер: микробтық мұнай бергіштікті арттыру, MEOR, микроорганизмдер, мұнайпласт суы, таксономиялық әртүрлілік, мұнай кен орны, биотехнология.

Kіpіcne

Қазақстан мұнай мен газ өндіру бойынша ең экстравагантты Батыс, Араб және басқа да елдермен бір деңгейде, сонымен қатар көмірсутегі шикізатын өндіру бойынша әлемдік жиырма ірі өндірушілер мен елдердің қатарында болып табылады.

Өзімізге белгілі Қазақстан қазіргі таңда кеш даму кезеңін бастан өткеруде. Еліміздің кен орындарының өндірісі сусыздандырудың 80–90 % жоғары деңгейінде, ал игерілмеген мұнай қорының ұңғымаларда қалған көлемі 60–70 %-ға жетеді. Осыған байланысты мұнайды қалпына келтірудің үшінші реттік әдістерін қолдану — мұнайдың табиғи ресурстарын ұтымды пайдалануға және қосымша мұнай өндіруден экономикалық нәтиже алуға мүмкіндік береді [1].

Үшіншілік әдістер немесе MEOR — бұл қабат қысымын жасанды түрде ұстап қана қоймай, сонымен қатар ығыстырушы агенттердің қасиеттерін немесе қабаттағы мұнайдың қасиеттерін өзгертетін әдістер болып табылады. Осылайша, біз қабаттан мұнай алу дәрежесін арттыруды қамтамасыз етеміз. Қазіргі уақытта мұнайды қалпына келтіру әдістерінің бұл топтары өнеркәсіптік ауқымда жеткілікті түрде игеріледі және қолданылады. Мұнайды жоғарылатудың бұл әдістері салыстырмалы түрде төмен капитал сыйымдылығымен, жоғары тиімділігімен және экологиялық қауіпсіздігімен назар аудартады.

Бұл бағытта дәстүрлі әдістермен қомақты қалдық мұнай қорын өндіру мүмкін болмайтын, тіпті қазірдің өзінде игерілген қабаттардың мұнай беруін арттыруға мүмкіндік беретін жаңа технологияларды әзірлеу мәселесін шешу маңызды. Сонымен бірге, экологиялық көрсеткіштер тұрғысынан көмірсутектермен ластанған әртүрлі орталарды тазартудың ең перспективалы жолы микробтық биопрепараттарды қолдануға негізделген биотехнологияларды қолдану болып табылады. Бұл биопрепарат технологиясының негізгі мәні — ластанған объектіге сырттан көмірсутекті қышқылдандыратын тірі микроорганизмдердің белсенді биомассасы енгізіледі, олар көмірсутектерді тек қоректену көзі ретінде пайдаланады және сонымен бірге табиғи экожүйелердің тұтастығы

қалпына келеді. Сонымен қатар, микробқа негізделген тазартқыштар *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Saccharomyces* and *Rhodopseudomonas* сияқты микроорганизмдердің белгілі бір комбинациясын қамтиды [2].

Экологиялық мәселелерді биологиялық әдіспен шешудің маңызды процестерінің бірі мұнаймен ластанған суларды тазарту. Мұнаймен ластанған су — 99,9 % судан және 0,1 % қатты заттан тұратын және адамның шаруашылық және өнеркәсіптік қызметінде пайдаланылғаннан кейін ағызылатын су болып табылады [3]. Дүние жүзіндегі өндірілетін өнеркәсіптік және тұрмыстық ағынды сулардың көлемі жыл сайын 700 млрд м³ жетеді [4]. Қазіргі кезде мұнай микроорганизмдері мен олардың бірлестіктерінің таусылмайтын зат алмасу потенциалының арқасында адам әртүрлі мақсаттарда, соның ішінде экологиялық мәселелерді шешуде пайдаланады. Осы мәселелерді шешуде биотехнологияның әлеуеті барған сайын маңызды бола түсуде.

Дүниежүзінің мұнай және мұнай өнімдері өнеркәсібі мұнай көмірсутектерін алу үшін көмірсутекті тотықтырғыш микроорганизмдер бірлестігінің биопрепараттарын кеңінен пайдаланады. Бұл көмірсутектер ең қауіпті, өте тез ыдырайтын және таралатын мұнай ластағыштары болып саналады [5]. Сондықтан мұндай мәселелерді шешуде мұнай тотықтырғыш микроорганизмдерді зерттеу өте маңызды және қазіргі заманның өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Көмірсутектерді тотықтыратын белсенді микроорганизмдер көмірсутектерді пассивті диффузия арқылы ғана сіңіреді, ол субстратты орта затпен қаныққанда ғана ыдыратуы мүмкін. Сонымен бірге, *Pseudomonas* бактерияларының туысы экожүйедегі мұнай өнімдерінің тотығуында маңызды рөл атқарады [6]. *Pseudomonad* туысының көмірсутекті жоғары тотықтырғыш қабілеті тіпті, аэробтық жағдайларда, оттегінің аз мөлшерінде және оларды мұнаймен ластанған топырақ пен суды өңдеуде қолдануға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта биопрепараттар мен оларды қолдану технологияларының кең спектрі белгілі. Өнімдердің әрекеті мұнай және мұнай өнімдеріне қатысты микроб культураларының жоғары тотықтырғыш қасиеттеріне негізделген. Отандық және шетелдік тәжірибе нәтижесінде ластанған жерлерді тазарту және рекультивациялау үшін биопрепараттар әзірленді. Мысалы, Naftox өнімі ластанудың жоғары деңгейінде мұнайды ыдырату мүмкіндігін көрсетті. Бұл ретте ресейлік ғалымдар препараттың екі жаңа түрін әзірледі. Олар: Naftox 12-P, онда *Pseudomonas aeruginosa* тотықтырғыш бактерия ретінде пайдаланылса, екіншісі Naftox 48-U-де *Pseudomonas citronellolis* белсенді бактерия ретінде оқшауланған [7]. Сонымен қатар, қоршаған ортаны қалпына келтіруде микроорганизмдер негізіндегі «Путидойл», «Биодestructor», «Ногги» сияқты биопрепараттар тиімді қолданылады. Дегенмен, микроорганизмдердің жаңа түрлерін енгізген кезде, микробтық флораның тіршілік әрекетіне шешуші әсер ететін: топырақ түзілудің табиғи жағдайларын және топырақ типтерін ескеру қажет.

Қазақстан ғалымдары мұнай мен мұнай өнімдерінің 31–36 % ыдырататын «Мұнайбак» биопрепаратын да жасап шығарды [8]. Көмірсутектерді бұзатын микроорганизмдерден тұратын осы алуан түрлі микробтық препараттарды пайдалану — табиғи экожүйелерді мұнай мен мұнай өнімдерінен тазартудың маңызды биотехнологиялық әдістерінің бірі ретінде қолданылады. Қоршаған ортада мұнай көмірсутектерін ыдырату үшін микроорганизмдердің көптеген түрлері, соның ішінде: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Rhodacoccus*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nocardia* және *Candida* қолданылады. Мұнайды қалпына келтірудің микробиологиялық әдістерін Titan Oil Recovery, Glori Energy together, Statoil, Total, Du Pont, Chevron компаниялары қолданады.

Ресейлік компаниялардың ішінде «Татнефть» микробиологиялық әдістерді белсенді түрде пайдаланады. Бұл ретте мұнайды қалпына келтіруді жоғарылатудың бұл әдістерін қолдану географиясы кең, атап айтсақ: АҚШ, Канада, Бразилия, Болгария, Әзірбайжан, Румыния, Германия, Ресей. Сондай-ақ Шығыс Азияда Қытай, Малайзия, Үндістан және Индонезия сияқты елдерде пилоттық сынақтар жүргізілді [9].

Жыл сайын барлық әлемде мұнай өндірудің жетілдірілген әдістеріне қызығушылық артып келеді, кен орындарын игерудің тиімді технологияларын таңдаудың ғылыми негізделген тәсілін табуға бағытталған зерттеулер әзірленуде.

ҚР Энергетика министрлігі мамандарының айтуынша, қазір мұнайдың 70 %-ға жуығы ішімізде қалып отыр, ал Норвегияда бұл көрсеткіш 50 %-дан аспайды. Мұнай өндірудің жаңа әдістерін кеңінен қолдану өндірілетін қорларды кем дегенде 15–20 %-ға арттырады [10].

Б. Жұмағұловтың есептеулері бойынша, Қазақстанда бар өндіру көлемдерімен мұнай өндіруді кемінде 1 %-ға арттыру жаңа ірі мұнай кен орнын пайдалануға берумен қатаң сәйкес келеді [11, 12].

Қазіргі уақытта мұнайды өндірудің 40–70 %-ға дейін жетуі мүмкін үшінші реттік күшейтілген әдістерін ExxonMobil, Royal Dutch Shell, Chevron, Conoco Phillips, Occidental Petroleum, Anadarko, Petrobras, Wintershall және ТРАО сияқты компаниялар қолданады. Түрлі технологиялар Египетте, Бразилияда, Индонезияда, Нидерландыда сынақтан өтті. Ал егер бұл үдеріске біздің мұнай компаниялары араласпаса, Қазақстан инновациялық технологияларды пайдалану жағынан басқа елдерден қалып қою қаупі бар [13].

Сондықтан алдағы уақытта ынтымақтастықты кеңейтіп, мұнай өндірудің жаңа әдістерін қолдануда шетелдік әріптестердің тәжірибесін алу қажет. Өйткені, болашақта мұнай мен газ өндірудің ішкі стратегиясы мұнай беру коэффициентін арттыру шаралары аясында жүзеге асырылуы тиіс. Еліміз мұнай қасиеттерінің, қабаттарының және аумақтық ерекшеліктерінің кең спектрі бар ресурс иелерінің қатарында. Осылайша, Қазақстанда мұнай өндіруді арттырудың әлеуеті әлі таусылған жоқ. Және бұл тұрғыда бізді бүкіл әлемдік мұнай қауымдастығының тәжірибесі қызықтырады.

Батыс Қазақстан кен орындарының мұнай қабаты суларынан оқшауланған микроорганизмдер

Микроорганизмдерді қолдану арқылы қалдық мұнай өндіру олардың физиологиялық және биохимиялық ерекшеліктерін мақсатты түрде пайдалануға негізделген. Бұндай ерекшеліктерге микроағзалардың температураның, қысымның, судың тұздылығының кең диапазонында, оттекті және оттегісіз жағдайда өсу қабілеті, көбею мен тіршілік үшін әртүрлі қоректік және энергия көздерін: H_2 , CO_2 -ден мұнайға дейін пайдалану қабілеті жатады. Сондай-ақ олар әртүрлі метаболиттер түзе алады: газдар (CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2), органикалық және май қышқылдары, еріткіштер, беттік белсенді заттар, ферменттер, әртүрлі полимерлер, соның ішінде полисахаридтер [14].

А.К. Ерназарова және оның командасының ғылыми-зерттеу жұмыстары бойынша аэробты және анаэробты жағдайларда мұнайды сұйылту және ығыстыру қасиеттері бар микроорганизмдердің штамдарын таңдау жұмыстары жүргізілді. Су айдау нәтижесінде консервацияланған «Ақінген» кен орнының мұнай қабаты суларынан оқшауланған микроорганизмдердің 31 штамы бөлініп, анықталды [15]. «Ақінген» мұнай кен орны Батыс Қазақстанның Атырау облысында, Құлсары қаласынан 40 шақырым жерде орналасқан. Кен орны 1980 жылы ашылды, игеру 1992 жылдың 1 қыркүйегінде басталды, қазіргі уақытта кеш игеру сатысында.

Игерілген және консервацияланған «Ақінген» кен орнының мұнай суынан оқшауланған, зерттелген микроорганизмдердің 31 штамынан кемінде екі мақсатты қасиетінің сәйкес келуімен (мұнай эмульсиясы, қышқыл түзілу, газ түзілу) келесі 16 микроорганизм штамы таңдалды. Бұл «Ақінген» кен орнының игерілген мұнай суларынан бөлінген бактериялардың 16 штамының генінің 16S рРНҚ фрагментінің тікелей нуклеотидтер тізбегін анықтау нәтижесінде барлық штамдар *Bacillus* және *Pseudomonas* тектеріне жатқызылды: *Bacillus paramycoides*, *Bacillus safensis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus haynesii*, *Bacillus paralicheniformis*, *Bacillus velezensis*, *Bacillus subtilis* subsp. *Spizizenii*, *Pseudomonas aeruginosa* [15].

16 штам арасындағы антагонистік байланыстарды зерттеу негізінде микроорганизмдердің келесі 5 штамы таңдалды: *P. aeruginosa* D5 — мұнай эмульгаторы, қышқыл түзуші, газ түзуші, *P. aeruginosa* D6 — мұнай эмульгаторы, қышқыл түзуші, газ түзуші, *Bacillus* sp. D1X — мұнай эмульгаторы, газдандырғыш, *B. licheniformis* SR1 — қышқылдандырғыш, газдандырғыш (анаэробты жағдай) және *B. licheniformis* CL1 — қышқылдандырғыш, газдандырғыш (анаэробты жағдай) [15].

2019 жылы зерттелген басқа жұмыстарға сәйкес «Жетібай» және «Құлсары» кен орындарындағы мұнай қабаты суларының үлгілерінен микроорганизмдердің 33 культурасы бөліп алынды. Микроорганизмдердің 33 культурасынан — 15 культура «Құлсары» кен орнының мұнай қабаты суларынан және «Жетібай» кен орнының үлгілерінен 18 микроорганизмдер культурасы бөлініп алынды [16]. Жұмыс істеп тұрған мұнай кен орындарының мұнай суларынан оқшауланған микроорганизмдер культуралары мұнай беруді жоғарылатудың биотехнологиялық әдістерін дамытудың перспективалық объектілері болып табылады.

Олар Батыс Қазақстанның мұнай шламынан бөлінген көмірсутекті тотықтырғыш микроорганизмдердің коллекциялық дақылдары арасында мұнай және гексан биоэмульгаторларын өндіруші микроорганизмдерді іздестірді: *Pseudomonas mendocina*, *Ps. aerogenosa*, *Bacillus* ssp., *Ps. ssp.* Субстраттар мен мұнайдың n-алкандарынан биосурфактанттарды түзетін аэробты мезофильді

бактериялардың алуан түрлілігі арасында көбінесе *Bacillus* және *Pseudomonas* тектес бактериялар болатыны белгілі болды [17, 18].

Микроорганизмдердің морфологиялық және дақылдық ерекшеліктерін зерттеу олардың тұқымдастығын анықтауға мүмкіндік берді, солайша микромицеттердің 4 дақылы *Candida* тұқымдасына, ал 29 бактерия дақылының ішінде: 18-і *Bacillus* тұқымдасының өкілдері, 6 дақылы *Pseudomonas* тұқымдасына және 5 дақылы — *Rhodococcus* тұқымдасына жататындығы анықталған [16].

«Құлсары» және «Жетібай» кен орындарының мұнай қабаты суларының аэробты микроорганизмдерінің осы экожүйелер үшін экологиялық маңызы бар екендігі көрсетілген, өйткені олардың саны көп, бұл олардың белсенді тіршілік әрекетін көрсетеді — сәйкесінше $25,1 \times 10^6$ жасуша/мл және $1,8 \times 10^6$ жасуша/мл., ал «Жетібай» сынамаларында анаэробты микроорганизмдер саны $0,38 \times 10^5$ (колония түзуші бірлік) КТБ/мл, ал «Құлсары» үлгілерінде — $0,5 \times 10^2$ КТБ/мл әлдеқайда аз [16].

Сонымен, микробтық күшейтілген мұнай өндіру саласында ілгерілеу үшін мұнай қабатында болатын микрофлораны түсіну және зерттеу маңызды. Мұнай қабаттарындағы микробтарды анықтау үшін культура негізіндегі типтік әдістер кеңінен қолданылады. Арнайы культуралық техникадағы шектеулерге байланысты тек біршама микроорганизмдерді тауып, оқшаулауға болады. Екінші жағынан, мұнай қабаттары сияқты экстремалды орталарда жағдай тіпті қиындайды, мұнда тек қолайсыз жағдайларға қарсы тұра алатын микроорганизмдер ғана өмір сүреді. Дегенмен, бүгінгі күні геномдық талдау сол ортаның биоәртүрлілігін көрсетудің жақсы құралы болып табылады. Ол зертханалық өсіру және жеке изоляттарды оқшаулау қажеттілігін жоққа шығарады [19]. Тұтастай алғанда, мұнай қабаттары улылығы жоғары, судың белсенділігі төмен, гидрофобты, жоғары температура, қысым және тұздылықтан тұратын микроорганизмдер үшін экстремалды орта екені белгілі. Алайда, қоймада қолайлы қоршаған орта жағдайлары пайда болғаннан кейін инъекцияланған микробтар белсенді түрде өсіп, олардың зат алмасу өнімдері мұнай қалдықтарын мобилизациялайды. Осыған қарамастан, бұл орта микроорганизмдердің әр түрлі түрлерінің, соның ішінде архейлердің, бактериялардың және метаногендердің тіршілік ету ортасын ұсынады [20].

Алыс елдердегі кен орындарының мұнай қабаты суларынан оқшауланған микроорганизмдер

Мұнай цистерналарындағы микробтардың тіршілігі бірнеше стресс факторлары бар қиын жағдайларға тап болады. Осы тұста микробтық биофильмдер табиғатта кең таралған және жер бетіндегі өмір сүрудің ең сәтті стратегияларының бірі болып табылады. Оған дәлел Кувейт шөліндегі мұнайлы көлі: аэробтық жағдайларда шикі мұнайдың болуы немесе теңіз суында цианобактериялармен микробтық төсеніштердің түзілуі арқылы биофильмдердің пайда болуы көрсетілген [21].

Микробтардың өсуіне температура, тұздылық және рН сияқты абиотикалық факторлар да әсер етеді. Кейбір бактериялар тек 50°C жоғары температурасы бар мұнай қоймаларында өмір сүре алады: *Nitrospira*, *Atribacteria* және *Acidobacteria*. Ал Гаммапротеобактериялардың көпшілігі мұнай қабаттарында 50°C -тан жоғары температурада көбірек салыстырмалы таралу көрсеткішін көрсетті. 50°C төмен мұнай қоймаларында *Spirochaetes*, *Synergistetes*, *Chloroflexi*, *Marinobacterium*, *Paracoccus*, *Donghicola* және *Planctomycetes* сияқты басқалары табылды. Сондай-ақ 70°C -тан жоғары мұнай қабаттарында өмір сүре алатын *Thermococcales* және *Archaeoglobales* сияқты термофильді организмдер бар. Жалпы алғанда, мұнай қабаттарындағы көмірсутектердің ыдырауы үшін қажетті ең жоғары температура 82°C шамасында болып саналады. Қытайдың 22 түрлі мұнай қоймаларында жүргізілген зерттеу жұмысы *Alphaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria* және *Actinobacteria* рН мәндері 7,0–8,2, ал *Pseudomonas* 5,5–7,6 аралығында өсетіндігін көрсетті. *Gammaproteobacteria* және *Betaproteobacteria* сияқты басқалары қышқылды ортада (рН мәндері 5,5–6,5 арасында) жиналады [21].

Температураның, рН мен тұздылықтың өзгеруіне байланысты микробиотаның дифференциалануынан басқа, мұнай кен орындарының орналасуы да маңызды рөл атқарады. Әрбір мұнай кен орнындағы микроорганизмдердің әртүрлілігі әдетте бір-бірінен ерекшеленеді. Оның тамаша мысалы Бразилиядағы Потигуар бассейнінен алынған биоыдыраған (GMR75) және биоыдырамайтын (PTS1) жерүсті майларымен жүргізілген зерттеу болады. Осы жұмыстың нәтижесінде екі үлгінің 16S рРНҚ гендік кітапханалары олардың арасындағы үлкен айырмашылықтарды көрсетті. Мысалы, GMR75 үлгісі *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Deferribacteres*, *Spirochaetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Thermotogae* және *Synergistete* сияқты 8 туыс микроорганизмдерін қамтыса, PTS1 үлгісі *Actinobacteria*, *ProChlorofutemoir*, *Flaorobacteria*, *Pholorofutes* сияқты 5 туыстың микроорганизмдері жатады [22].

Р.Х. Беккер, Ю.А. Гуторов және А.М. Гареевтің Волга-Орал аймағының мұнай қабаттарында MEOR пайдалану мүмкіндіктері туралы зерттеулеріне сәйкес, біз АҚШ, Шығыс Германия, Венгрия, Польша, Ресей және басқа елдерде әр уақытта жүргізілген осы аймақтың болашағын көрсететін MEOR тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстары туралы біле аламыз [23]. Сонымен қатар, бұл зерттеу мұнай өндіруді арттыру үшін микробты ынталандырудың екі нұсқасын көрсетеді: дайындалған микробиологиялық культура мен резервуар культурасын қолдану. Олар EOR екі әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктерін талдады. Сондай-ақ, 1969 жылы Чехословакияда мұнай қабатын микробиологиялық өңдеуден кейін мұнай өндірудің 6,68 пайызға өскені туралы хабарланды. 1964-1976 жылдары Польшадағы мұнай кен орындарының 20 ұңғымасында әртүрлі микробиологиялық тәсілдер өнеркәсіптік бағаланды. Бактериялық өңдеу арқылы ұңғымадан 2–8 жыл ішінде 200 процент мұнай өндірудің өсіміне жетуге болатындығы көрсетілді. Сонымен бірге өндірілген мұнайдың физика-химиялық қасиеттерінің біршама жақсаруы байқалды. Гидравликалық бұрғылаудың микроағзалық өңдеумен үйлесуі оң нәтиже берді [23]. *Clostridium* және *Bacillus* тектес микроорганизмдер өнеркәсіптік микробиологиялық технологияларда сәтті қолданылады. Бұл туыстың өкілдері спора түзілу қабілетіне байланысты айтарлықтай әлеуетке ие. Олар мұнай резервуарларына микроорганизмдерді инъекциялауда сөзсіз туындайтын қоршаған ортаның қолайсыз өзгерістеріне төзімді. *Clostridium* туысы беттік белсенді заттар, газдар, спирттер мен қышқылдар шығарады, ал *Bacillus* туысы беттік белсенді заттар, қышқылдар мен биополимерлер шығарады [23].

Сондай-ақ, Татарстанда мелассаны айдау бойынша пилоттық сынақтар 2002–2004 жылдары «Ромашкин 302» Башкұрт кен орнында жүргізілгені атап өтілді. Бұл әдістің технологиялық тиімділігі 1 тонна айдалған мелассаға 4,58 тонна қосымша алынған мұнай болды. Бұл деректер MEOR-ды тиімді және мұнай өндіруде маңызды әлеуетке ие екенін түсінуге көмектеседі [23].

Сонымен қатар, А.В. Мاستин 2016 жылы «Микробиологиялық әдістерді қолдана отырып, қабаттардың мұнай беруін арттыру» атты жұмысында MEOR туралы баяндап берді. Мұнай өндіруді арттырудың микробиологиялық әдістері су айдау арқылы резервуарды толтырып, резервуарлардың мұнай беру коэффициентін арттыруы мүмкін делінген. Автор сонымен қатар бұл жүйенің технологиясы жоғарыда айтылғандай, су басу тиімділігі төмен орта және кеш сатыдағы мұнай кен орындарындағы айдау ұңғымаларына микроорганизмдердің биомассасын айдау әдісіне негізделгенін атап өтті. Бұл әдістің құрылымы бірқатар микробиологиялық, физика-химиялық және гидродинамикалық процестерден тұрады. Ыдыраған құрылымдарға енгізілген микробтық су жақсы қамтылған жерлерде инъекцияланған микроорганизмдер таралады, өседі, қалдық мұнайдың өткізгіштігін төмендетеді және тіпті өткізгіштігі нашар аймақтардың пайда болуына әкеледі. Сонымен қатар, көмірқышқыл газы, метан сияқты осы процестердің газ тәрізді компоненттері резервуар суларына қатты әсер етеді, осылайша қалдық мұнайдың ығысу коэффициентін арттырады [24].

Биосурфактанттарды алу процесі *in situ* мұнай өндіруді микробиологиялық арттыру процесінде әдетте үлкен энергия шығынын қажет етпейді және шикі мұнайдың әлемдік бағасына тәуелді емес [20].

Соңғы бірнеше жылда биологиялық беттік-белсенді қосылыстарға немесе биосурфактанттарға қажеттілік артып келеді, оларды көптеген микроорганизмдер шығарады, өйткені олар биологиялық ыдырау қабілетіне ие, уыттылығы төмен және химиялық беттік-белсенді заттармен салыстырғанда кеңінен қолданылады. Оларды эмульгаторлар, деэмульгаторлар, суландырғыштар, жеткізу агенттері, көбіктендіргіштер, жуғыш заттар және тағамдық қоспалар ретінде пайдалануға болады. Құмды тіректердегі зертханалық масштабтағы әртүрлі эксперименттер және далалық сынақтар MEOR-да биосурфактанттардың тиімділігін сәтті көрсетті [25].

MEOR-дің жетістігі көбінесе жергілікті микробтардың түрлері мен сипаттамаларына байланысты. «Май Сун» су қоймасында, ағынның жылдамдығы төмендейтін мұнай резервуарында жүргізілген зерттеуде резервуарлық бактериялардың биосурфактанттар түзуге қабілеттілігі зерттелді және рРНҚ-ның 16S Метагеномика гендерінің мәліметтер жиынтығы негізінде MEOR-мен байланысты функционалды гендерді болжау арқылы мәдени емес жергілікті бактериялардың MEOR-ды қолдау мүмкіндігі бағаланды. Бір туыс резервуардағы мұнай құм тастарынан алынған биосурфактант бактерияларына тиесілі болды: *Bacillus licheniformis*, олар беттік керілуді 72-ден 32 mN/m-ге дейін төмендетуі мүмкін. Бұл изоляттарда биосурфактант (licA 3), липаза (lipP1) және катехол 2,3-диоксигеназаға жауап беретін гендердің тізбегі табылды. Еноил-КоА гидратаза және алкан-1-моноксигеназа сияқты MEOR-пен байланысты функционалды ақуыздарды кодтайтын соңғы екі және басқа гендер формациялық құмтастарда өмір сүретін бактерия популяцияларында күтілді.

Бұл құмтастардың KNO_3 және NaH_2PO_4 -тен тұратын қоректік заттарға әсері кейбір функционалды гендер үлесінің күтілетін өсуіне әкелді. Осы зерттеуде көрсетілген тәсілдерді пайдалану сонымен қатар тиісті қоректік заттарды өңдеу арқылы жақсартуға болатын мұнай қабаттарында MEOR пайдаланудың орындылығын бағалауға көмектеседі [26].

Actinobacteria, Fusobacteria, Nitrospira, Pseudomonadales және Thermodesulfobacteria, ал су фазасынан: Alphaproteobacteria, Atribacteria, Bacterioidetes, Betaproteobacteria, Campylobacteriales, Chloroflexi, Synergistetes және Thermotogae табылды [27].

Мұнай қабаттарының микробтық қауымдастықтары жердің ежелгі және экстремалды биоценоздары ретінде жіктеледі, сондықтан мұнай қабаттарының микроорганизмдері биотехнологиялық әлеуетке ие, атап айтқанда, игерудің кейінгі кезеңінде игерілген кен орындарының қайталама мұнай беруін арттыру үшін биотехнологияны дамыту үшін маңызды.

Қорытынды

Зерттеу көрсеткендей, Батыс Қазақстан кен орындарындағы мұнай микроорганизмдері ұқсас таксономиялық әртүрлілікке ие, ал бүкіл әлем бойынша одан бірнеше есе көп түрлері бар.

Салыстыру барысында Батыс Қазақстанның мұнай кен орын суларында және әлемнің көптеген басқа мұнай өндіретін аймақтарында микроорганизмдердің мына топтары бар екендігі анықталды: споралы микроорганизмдер, микромицеттер, псевдомонадтар және *Bacillus* тұқымының өкілдері. Керісінше, сирек кездесетін *Bacillus paramycooides, Bacillus safensis, Bacillus haynesii, Bacillus paralicheniformis, Bacillus velezensis, Bacillus subtilis* subsp. *Spizizenii* Батыс Қазақстандағы мұнай кен орындарында, сондай-ақ әлемнің тек бірнеше елінде табылды. Алайда, Батыс Қазақстанның мұнай суларынан бөлінген микроорганизмдер бір-бірімен көптеген қауымдастықтар құрып, мұнай өндіруді ұлғайта алатындығы да дәлелденген.

Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, микроорганизмдердің бұл дақылдары дәстүрлі әдістермен мұнайдың қалдық қорларын алу мүмкін болмайтын, қазірдің өзінде игеріліп жатқан қабаттардың қайталама мұнай беруін арттыру технологиясын құру үшін әлеуетті перспективалы биологиялық объектілер ретінде мақсатты қасиеттерді одан әрі зерттеуді қажет етеді.

Жақын болашақта әртүрлі мұнай қорларында кездесетін микроорганизмдердің барлық түрлерін анықтауға болады. Нәтижесінде мұнай тез және оңай өндірілу мүмкіндігіне ие. Осыған байланысты тереңірек көптеген ізденістер қажет. Мұндай жаңа зерттеу Қазақстанды мұнай өндіру көлемі бойынша көшбасшы ретінде танытуға мүмкіндік беретіні сөзсіз.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Мурзаков Б.Г. Экологическая биотехнология для нефтегазового комплекса (теория и практика) / Б.Г. Мурзаков. — М.: Моск. гос. ун-та, 2005. — С. 76–88.
- 2 Spök A. Status of Microbial Based Cleaning Products in Statutory Regulations and Ecolabelling in Europe, the USA, and Canada / A. Spök, G. Arvanitakis, G. McClung // J. Food and Chemical Toxicology. — 2018. — Vol. 116. — P. 10–19.
- 3 Samer M. Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes / M. Samer // Wastewater Treatment Engineering. — 2015. — Chapter 1. — P. 15–19.
- 4 Ручай Н.С. Экологическая биотехнология / Н.С. Ручай, Р.М. Маркевич. — Минск: Белорус. гос. технолог. ун-т, 2006. — 312 с.
- 5 Kuyukina M.S. Rhodococcus biosurfactants: biosynthesis, properties, and potential applications / M.S. Kuyukina, I.B. Ivshina // In Biology of Rhodococcus. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. — P. 29.
- 6 Ambrazaitiene D. Biodegradation activity in the soil contaminated with oil products / D. Ambrazaitiene, A. Zukauskaitė, V. Jakubauskaitė, R. Reikaite, M. Zubrickaitė, D. Karcauskiene // Biology, Environmental Science. — 2013. — Vol. 100 (3). — P. 235–242.
- 7 Рогозина Е.А. Очистка нефтезагрязненных почв бактериями рода *Pseudomonas* — основой биопрепаратов Нафтокс 12–Р и Нафтокс 48–У / Е.А. Рогозина, И.Ф. Тимергазина, П.А. Моргунов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2014. — Т. 9, № 2. — С. 1–14.
- 8 Umbetov K.O. Evaluation of the environmental impact on the petrochemical biopreparation / K.O. Umbetov. — ECO-SAF LLP Атырау, 2018. — 48 р.
- 9 Osunde J.E. Micro-organisms in enhanced oil recovery / J.E. Osunde, S.A. Balogun // Journal of Science. — 2013. — P. 617–630.
- 10 Suleimanov B.A. A new microbial enhanced oil recovery (MEOR) method for oil formations containing highly mineralized water / B.A. Suleimanov, S.J. Rzayeva, S.S. Keldibayeva // Petroleum Science and Technology. — 2020. — P. 1–8.

- 11 Жумагулов Б. Что там на горизонтах? / Б. Жумагулов // Казахстанская правда. — 2015. — 5 с.
- 12 Васильянова Л.С. Некоторые особенности нефтей Казахстана / Л.С. Васильянова // Нефть и газ. — 2006. — № 2. — С. 85–92.
- 13 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kazpravda.kz/fresh/view/v-zone-osobogovnimaniya>
- 14 Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук. — М.: Академия, 2005. — 608 с.
- 15 Kaiyrmanova G.K. Screening of microorganisms with oil diluting and oil-displacing properties / G.K. Kaiyrmanova, I. Swiecicka, Sh.Zh. Tapeshova, R.B. Magmiyev, U.T. Shaimerdenova, K.N. Satayeva, A.K. Yernazarova // KazNU Bulletin. Ecological series. — 2020. — № 2 (63). — P. 14–20.
- 16 Кайырманова Г.К. Изучение микрофлоры нефтепластовых вод месторождений Западного Казахстана / Г.К. Кайырманова, Ж. Дарменкулова, А.А. Жубанова, А.К. Ерназарова, Г. Жабасова, Ш. Тапешова // Вестн. Казах. нац. ун-та. Сер. биол. — 2017. — № 72 (3). — С. 104–113.
- 17 Abouseoud M. Evaluation of different carbon and nitrogen sources in production of biosurfactant by *Pseudomonas fluorescens* / M. Abouseoud, R. Maachi, A. Amrane, S. Boudergua, A. Nabi // Desalination. — 2008. — № 233. — P. 143–151.
- 18 Aparna A. Isolation, screening and production of biosurfactant by *Bacillus clausii* 5B / A. Aparna, G. Srinikethan, H. Smitha // Research in Biotechnology. — 2012. — № 3. — P. 49–56.
- 19 Shibulal B. Analysis of Bacterial Diversity in Different Heavy Oil Wells of a Reservoir in South Oman with Alkaline pH / B. Shibulal, S.N. Al-Bahry, Y.M. Al-Wahaibi // Environmental Biotechnology: Challenges, Applications, and Future Prospects. — 2018. — Vol. 2018. — Article ID 9230143. <https://doi.org/10.1155/2018/9230143>
- 20 Nikolova C. Use of Microorganisms in the Recovery of Oil from Recalcitrant Oil Reservoirs: Current State of Knowledge Technological Advances and Future Perspectives / C. Nikolova, T. Gutierrez // Front. Microbiol. — 2020. — Vol. 18. — Article ID 02996. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02996>
- 21 Pannekens M. Oil reservoirs, an exceptional habitat for microorganisms / M. Pannekens, L. Kroll, H. Müller, F.T. Mbow, R.U. Meckenstock // New Biotechnology. — 2019. — P. 1–9.
- 22 Silva T.R. Diversity analyses of microbial communities in petroleum samples from Brazilian oil fields / T.R. Silva, L.C. Verde, E.V. Santos Neto, V.M. Oliveira // International Biodeterioration & Biodegradation. — 2013. — P. 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.05>
- 23 Беккер Р.Х. Перспективы применения микробиологических методов повышения нефтеотдачи в условиях продуктивных коллекторов Урало-Поволжья / Р.Х. Беккер, Ю.А. Гуторов, А.М. Гареев // Разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2012. — № 3 (10). — С. 34–48.
- 24 Мастин А.В. Повышение нефтеотдачи пласта с помощью микробиологических методов / А.В. Мастин // Новая наука: Современное состояние и пути развития. — 2016. — № 3 (11). — С. 19–21.
- 25 Khire J.M. Bacterial biosurfactants, and their role in microbial enhanced oil recovery (MEOR) / J.M. Khire // AdvExp Med Biol. — 2010. — P. 146–157.
- 26 Phetcharat T. Biosurfactant-Producing Capability and Prediction of Functional Genes Potentially Beneficial to Microbial Enhanced Oil Recovery in Indigenous Bacterial Communities of an Onshore Oil Reservoir / T. Phetcharat, T.P. Dawkrajai, T. Chitov // CurrMicrobiol. — 2019. — P. 382–391.

Н.Е. Толеген, Д.Г. Ондасынова, К. Бахытулы, А.А. Ибатова

Сравнение таксономического разнообразия микроорганизмов, выделенных из нефтяных пластовых вод месторождений Западного Казахстана, с зарубежными месторождениями нефти

В статье описаны микроорганизмы, выделенные из нефтяных вод различных нефтяных месторождений, которые являются основными объектами исследований по методам повышения микробной проницаемости нефти (MEOR). Микроорганизмы выделяют ряд потенциально полезных метаболитов (биомасса, биосурфактанты, биокислоты, биорастворители, биополимеры, биогаз) для извлечения нефти. Эти метаболиты помогают снизить вязкость масла и межфазное трение между нефтью и водой в качестве поверхностно-активного вещества, увеличивая ее пористость и проницаемость. В статье рассмотрены таксономическое биоразнообразие трех действующих скважин «Жетыбай», «Кульсары» и «Акинген», а также водонепятные микроорганизмы различных месторождений мира в течение нескольких лет. Собраны данные о важности нефтяных микроорганизмов, их изучении, важности процессов MEOR, сравнение нефтяных микробов, выделенных из международных и западно-казахстанских нефтяных вод, и перспективы этих микроорганизмов. В статье представлена информация о микроорганизмах, обладающих высокой устойчивостью к неблагоприятным изменениям окружающей среды, таких как *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* Эти виды выделяют поверхностно-активные вещества, газы, спирты, кислоты и биополимеры. Обсуждались сходства и перспективы таксономиче-

ского биоразнообразия микроорганизмов на месторождениях нефти в Западном Казахстане, а также использование микроорганизмов на месторождениях дальних стран в процессах MEOR.

Ключевые слова: микробиологическое повышение нефтеотдачи, микроорганизмы, нефтепластовая вода, таксономическое разнообразие, нефтяное месторождение, биотехнология.

N.Y. Tolegen, D.G. Ongdassynova, K. Bakhytuly, A.A. Ibatova

Comparison of taxonomic diversity of microorganisms isolated from oil reservoir waters of Western Kazakhstan deposits with foreign oil fields

The article describes a variety of microorganisms, isolated from oil reservoir waters of different oilfields that are main objects in studying the microbial enhanced oil recovery (MEOR) methods. Microorganisms can generate a number of potentially useful metabolites (biomass, biosurfactants, bioacid, biosolvents, biopolymer, biogas) for oil recovery. These metabolites help to reduce the oil's viscosity and the interfacial friction between oil and water as a surfactant, increase its porosity and permeability. The article discusses the taxonomic biodiversity of microorganisms of oil-formation waters of three active wells of the "Zhetybai", "Kulsary", and "Akingen" fields and from different oil deposits across the world for several years. The significance of oil microorganisms, their research, the importance of MEOR processes, comparison of oil microbes between international and Western Kazakhstan oil reserves and future of these microorganisms are widely studied. The article provides information on microorganisms, such as *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, that are more immune to adverse shifts in environmental changes. These genera produce surfactants, gases, alcohols, acids, and biopolymers. The similarity of the taxonomic biodiversity of oil microorganisms of oilfields in Western Kazakhstan and their prospects, as well as the use of microorganisms from the distant countries' oilfields in the MEOR processes are analyzed.

Keywords: microbial enhanced oil recovery (MEOR), microorganisms, oil reservoir water, taxonomic diversity, oil field, biotechnology.

References

- 1 Murzakov, B.G. (2005). *Ekologicheskaiia biotekhnologiia dlia neftegazovogo kompleksa (teoriia i praktika) [Ecological biotechnology for the oil and gas complex (theory and practice)]*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].
- 2 Spök, A., Arvanitakis, G., & McClung, G. (2018). Status of Microbial Based Cleaning Products in Statutory Regulations and Ecolabelling in Europe, the USA, and Canada. *J. Food and Chemical Toxicology*, 116; 10–19.
- 3 Samer, M. (2015). Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes. *Wastewater Treatment Engineering*, 15–19.
- 4 Ruchaj, N.S., & Markevich, R.M. (2006). *Ekologicheskaiia biotekhnologiia [Environmental biotechnology]*. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 312 [in Russian].
- 5 Kuyukina, M.S., & Ivshina, I.B. (2010). Rhodococcus biosurfactants: biosynthesis, properties, and potential applications. In *Biology of Rhodococcus*. Springer, Berlin, Heidelberg, 291–313.
- 6 Ambrazaitiene, D., Zukauskaitė, A., Jakubauskaitė, V., Reikaite, R., Zubrickaitė, M., & Karcauskiene, D. (2013). Biodegradation activity in the soil contaminated with oil products. *Biology, Environmental Science*, 100 (3); 235–242.
- 7 Rogozina, E.A., Timergazina, I.F., & Morgunov, P.A. (2014). Oчistka neftezagiaznennykh pochv bakteriiami roda *Pseudomonas* — osnovoi biopreparatov Naftoks 12-R i Naftoks 48-U [Cleaning oil-contaminated soil by *Pseudomonas* bacteria – basis of biological products Naftoks 12-R and Naftoks 48-U]. *Neftegazovaiia geologiia. Teoriia i praktika — Oil-gas geology. Theory and practice*, 9 (2); 1–14 [in Russian].
- 8 Umbetov, K.O. (2018). *Evaluation of the environmental impact on the petrochemical biopreparation*. ECO-SAF LLP Atyrau.
- 9 Osunde, J.E., & Balogun, S.A. (2013). Microorganisms in enhanced oil recovery. *Journal of Science*, 15 (3); 617–630.
- 10 Suleimanov, B.A., Rzayeva, S.J., & Keldibayeva, S.S. (2020). A new microbial enhanced oil recovery (MEOR) method for oil formations containing highly mineralized water. *Petroleum Science and Technology*, 1–8.
- 11 Zhmagulov, B. (2015). Chto tam na gorizontakh? [What's on the Horizon?]. *Kazakhstanskaia pravda — Kazakhstan Truth*, 5 [in Russian].
- 12 Vasilianova, L.S. (2006). Nekotorye osobennosti neftei Kazakhstana [Some features of oils in Kazakhstan]. *Neft i gaz — Oil and Gas*, 2; 85–92 [in Russian].
- 13 Retrieved from <https://www.kazpravda.kz/fresh/view/v-zone-osobogo-vnimaniya9> [in Russian].
- 14 Netrusov, A.I., Egorova, M.A., & Zaharchuk, L.M. (2005). *Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology]*. Moscow: Akademiia [in Russian].

- 15 Kaiyrmanova, G.K., Swiecicka, I., Tapeshova, Sh. Zh., Magmiyev, R.B., Shaimerdenova, U.T., Satayeva, K.N., & Yernazarova, A.K. (2020). Screening of microorganisms with oil diluting and oil displacing properties. *KazNU Journal, Ecological series*, 2 (63); 14–20.
- 16 Kaiyrmanova, G.K., Darmenkulova, Zh., Zhubanova, A.A., Yernazarova, A.K., Zhabasova, G., & Tapeshova, Sh. (2017). Izuchenie mikroflory nefteplastovykh vod mestorozhdenii Zapadnogo Kazakhstana [Study of the microflora petroleum stratal waters of deposits of Western Kazakhstan]. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo universiteta. Seriya Biologiya — Kazakh National University Journal. Biology series*, 3 (72); 104–113 [in Russian].
- 17 Abouseoud, M., Maachi, R., Amrane, A., Boudergua, S., & Nabi, A. (2008). Evaluation of different carbon and nitrogen sources in production of biosurfactant by *Pseudomonas fluorescens*. *Desalination*, 233; 143–151.
- 18 Aparna, A., Srinikethan, G., & Smitha, H. (2012). Isolation, screening and production of biosurfactant by *Bacillus clausii* 5B. *Research in Biotechnology*, 3; 49–56.
- 19 Shibulal, B., Al-Bahry, S.N., & Al-Wahaibi, Y.M. (2018). Analysis of Bacterial Diversity in Different Heavy Oil Wells of a Reservoir in South Oman with Alkaline pH. *Environmental Biotechnology: Challenges, Applications, and Future Prospects*, 10.
- 20 Nikolova, C., & Gutierrez, T. (2020). Use of Microorganisms in the Recovery of Oil from Recalcitrant Oil Reservoirs: Current State of Knowledge Technological Advances and Future Perspectives. *Front. Microbiol.*, 18; 02996. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02996>
- 21 Pannekens, M., Kroll, L., Müller, H., Mbow, F.T., & Meckenstock, R.U. (2019). Oil reservoirs, an exceptional habitat for microorganisms. *New Biotechnology*, 1–9.
- 22 Silva, T.R., Verde, L.C., Santos Neto, E.V., & Oliveira, V.M. (2013). Diversity analyses of microbial communities in petroleum samples from Brazilian oil fields. *International Biodeterioration & Biodegradation*; 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.05>
- 23 Bekker, R.X., Gutorov, Yu.A., & Gareev, A.M. (2012). Perspektivy primeneniia mikrobiologicheskikh metodov povysheniia nefteotdachi v usloviakh produktivnykh kollektorov Uralo-Povolzhia. *Razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii — Development of oil and gas fields*, 3 (10); 34–48 [in Russian].
- 24 Mastin, A.V. (2016). Povyshenie nefteotdachi plasta s pomoshchiu mikrobiologicheskikh metodov. *Novaia nauka: Sovremennoe sostoianie i puti razvitiia — New science: modern state and ways of development*, 3 (11); 19–21 [in Russian].
- 25 Khire, J.M. (2010). Bacterial biosurfactants, and their role in microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Adv Exp Med Biol*, 146–157.
- 26 Phetcharat, T., Dawkrajai, T.P., & Chitov, T. (2019). Biosurfactant-Producing Capability and Prediction of Functional Genes Potentially Beneficial to Microbial Enhanced Oil Recovery in Indigenous Bacterial Communities of an Onshore Oil Reservoir. *Cur Microbiol.*, 382–391.

К.А. Тулешова*, А.К. Қали, Д.К. Кыздарова, Е.К. Кейкин

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

*Автор для корреспонденции: kura-ulitau@mail.ru

Изучение морфологической изменчивости листьев *Pinus sylvestris*, собранной на территории Карагандинской области

Биоиндикация с применением морфологических показателей листьев растений является актуальным направлением для быстрой и недорогой оценки загрязненности окружающей среды. Карагандинская область является промышленным регионом, отличающимся высоким уровнем выбросов из-за деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий. Цель исследования — изучение морфометрических показателей хвои *Pinus sylvestris*, собранной в различных местах произрастания на территории Карагандинской области (Центральный Казахстан): г. Караганда, Темиртау, Сатпаев, Балхаш, Жезказган, пос. Улытау. В статье представлены итоги исследования морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной с оценкой внешнего вида, длина, ширины, толщина иглолок и среднего оборота вокруг собственной оси. Установлено, что в более загрязненных участках наблюдаются минимальные значения длины и ширины листа, максимальные показатели среднего оборота вокруг оси и коэффициента вариации признаков. На малозагрязненных участках отмечены максимальные значения длины и ширины листа, минимальная степень варьирования исследуемых признаков. Для признака «толщина листа» не выявлено достоверной разницы по вариантам опыта. Полученные данные могут применяться для биоиндикации загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, Карагандинская область, биоиндикация, морфология, хвоя, метрические показатели, изменчивость.

Введение

Изучение влияния различных экологических факторов на адаптацию растений имеет важное значение для оценки их состояния. Наиболее информативным и быстрым методом оценки состояния окружающей среды является биоиндикация [1]. Изучение анатомо-морфологических показателей генеративных и вегетативных органов растений широко применяется для оценки состояния окружающей среды [2]. Известно, что все живые организмы предъявляют определенные требования к условиям окружающей среды, поэтому изменение отдельных параметров в обязательном порядке отражается на морфологии, анатомии и физиологии растительных и животных организмов [3–5].

Стабильность морфологических показателей листьев, в том числе хвойных культур [6], является чувствительным индикатором загрязнения окружающей среды [7–9].

Город Караганда, как и Карагандинский промышленный регион, характеризуется высоким уровнем загрязнения, которое превышает экологические возможности окружающей среды, нарушает ее нормальное функционирование, что оказывает негативное влияние на существование человека [10]. Наиболее распространенными загрязняющими веществами г. Караганды, поступающими в атмосферный воздух от техногенных источников, являются: оксид углерода, диоксид серы, оксид азота, углеводороды, пыль [11]. Распределение загрязняющих веществ происходит неравномерно, что требует быстрых методов оценки на конкретных участках.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — широко применяемый в озеленении вид. Информативным признаком определенного уровня загрязнения атмосферы является состояние хвои: изменение окраски (хлороз, пожелтение), преждевременное увядание хвои, время жизни, наличие некротических пятен. Для индикационных целей могут быть использованы также морфологические и анатомические характеристики хвои сосны [5, 8, 9].

Цель настоящего исследования — провести сравнительное морфологическое исследование хвои сосны обыкновенной, произрастающей на территории г. Караганды.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на образцах хвои сосны, собранных на территории Карагандинской области (табл. 1).

Точки отбора проб хвои сосны для проведения исследований

№ точки отбора пробы	Населенный пункт	Место отбора проб хвои
1	г. Жезказган	Площадь перед городским Акиматом
2	г. Жезказган	Парк Наурыз
3	г. Сатпаев	Сквер перед Акиматом
4	с. Улытау	Акимат, сквер
5	г. Караганда	Сортировка, парк Железнодорожников
6	г. Каркаралы	Городской парк
7	г. Каркаралы	Посадки возле Акимата
8	г. Караганда	Юго-Восток, Этнопарк
9	г. Караганда	Центральный парк культуры и отдыха
10	г. Караганда	Парк Победы
11	г. Темиртау	Парк Восток
12	г. Темиртау	Автостанция, сквер
13	г. Балхаш	Акимат, сквер
14	г. Балхаш	Районная прокуратура
15	г. Караганда	Майкудук, парк

Перед сбором хвои был проведен первичный визуальный анализ состояния деревьев. Хвоя была собрана с концевых побегов нижних ярусов деревьев на высоте 1 м от уровня земли. Количество собранных пар иголок хвои — 50 шт. Все пробы были отобраны с северной стороны, чтобы исключить влияние солнечного света.

Для характеристики состояния хвои были использованы следующие параметры [12]: длина, толщина и ширина хвои, оборот хвоинок относительно собственной оси. Длина, ширина и толщина хвои определялась методом линейного измерения при помощи цифровой линейки с точностью 0,01 мм. Оборот хвоинок определяли методом визуального подсчета количества оборотов хвоинки вокруг собственной оси, с определением четвертей оборота. Оборот хвоинки вокруг собственной оси на 90° соответствовал 0,25 единицам оборота.

Статистическую обработку результатов осуществляли по методике Н.Л. Удольской [13]. Расчет достоверности различия полученных результатов проводился с использованием критерия Манна–Уитни–Вилкокса и расчета ошибки репрезентативности среднего отклонения с применением таблицы Н.А. Плохинского. Для анализа полученных данных сравнивали средние значения показателей и коэффициенты вариации.

Результаты и их обсуждение

Как известно из литературных источников [6, 9, 14], состояние хвои сосны обыкновенной является характерным признаком, несущим информацию о загрязнении окружающей среды. Для незагрязненных участков характерна здоровая хвоя, с минимальным количеством пожелтевших участков. В условиях промышленного загрязнения происходит хлороз, пожелтение участков, наличие некротических пятен, снижаются размер иголок и продолжительность их жизни.

Изучение состояния хвои сосны (см. рис.) показало наличие различий, как по внешнему виду, так и по морфологическим показателям. Так, наиболее насыщенную зеленую окраску имели листья сосны, собранные на участках 2, 6, 11 и 15, светлоокрашенными являлись пробы с участков 1, 3, 7 и 9. Кончики иголок имели частичное пожелтение в пробах, собранных на участках 1, 8, 11 и 12. Центральная жилка хорошо была выражена в пробах с точек 2, 6, 8, 11, 12, 13 и 15.

Таким образом, визуальный анализ не показал каких-либо существенных различий во внешнем строении хвои, что свидетельствует о равно-факторном влиянии внешних условий на ее состояние. Наблюдавшиеся пожелтения и почернения хвои не носили массовый характер, поэтому не могут являться критерием отрицательного или положительного состояния.



Рисунок. Внешний вид анализируемых листьев сосны обыкновенной с разных точек сбора

Сравнение среднего показателя длины хвои позволило выявить, что максимальные размеры были зафиксированы в пробе № 4, собранной возле Акимата с. Улытау, — 93,76 мм (табл. 2). Вторую позицию по длине занимают образцы, собранные в г. Каркаралы, — 89,21 мм. Минимальные показатели длины хвои сосны обыкновенной отмечены для парка Наурыз г. Жезказгана (13,90 мм), парка Железнодорожников г. Караганды (36,35 мм), парка Восток г. Темиртау (37,65 мм). Признак длины листа варьировал на низком, среднем и высоком уровнях. Так, минимальные коэффициенты вариации были выявлены у образцов хвои, собранной в сквере возле Акимата с. Улытау (3,17), парке Победы г. Караганды (6,66), парке Майкудука г. Караганды (7,22) и городском парке г. Каркаралы (8,43).

**Морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной на разных точках сбора
(Карагандинская область)**

№ точки сбора пробы	Населенный пункт, место отбора пробы	Длина хвои, мм	Толщина хвои, мм	Ширина хвои, мм	Показатель среднего оборота вокруг собственной оси, раз
1	г. Жезказган, площадь перед городским Акиматом	$48,06 \pm 1,28$ 17,99	$0,92 \pm 0,02$ 17,99	$0,59 \pm 0,02$ 17,65	$1,13 \pm 0,05$ 34,05
2	г. Жезказган, парк Наурыз	$13,90 \pm 0,19$ 9,24	$0,64 \pm 0,01$ 13,75	$0,49 \pm 0,01$ 14,54	$0,58 \pm 0,03$ 31,36
3	г. Сатпаев, сквер перед Акиматом	$76,70 \pm 1,76$ 15,43	$0,83 \pm 0,22$ 18,07	$1,96 \pm 0,08$ 27,67	$1,37 \pm 0,06$ 29,27
4	с. Улытау, Акимат, сквер	$93,76 \pm 0,44$ 3,17	$0,73 \pm 0,02$ 14,50	$1,47 \pm 0,04$ 16,18	$1,02 \pm 0,02$ 10,08
5	г. Караганда, Сортировка, парк Железнодорожников	$36,35 \pm 0,46$ 8,43	$0,80 \pm 0,14$ 17,01	$0,52 \pm 0,02$ 25,03	$1,08 \pm 0,06$ 36,54
6	г. Каркаралы, Городской парк	$61,31 \pm 3,33$ 36,40	$1,07 \pm 0,02$ 9,45	$0,93 \pm 0,01$ 10,59	$1,02 \pm 0,02$ 10,08
7	г. Каркаралы, посадки возле Акимата	$89,21 \pm 1,17$ 8,83	$1,41 \pm 0,02$ 9,44	$0,80 \pm 0,02$ 20,02	$1,17 \pm 0,04$ 20,20
8	г. Караганда, Юго-Восток, Этнопарк	$42,66 \pm 1,42$ 22,26	$0,92 \pm 0,03$ 25,60	$0,57 \pm 0,02$ 20,94	$1,06 \pm 0,06$ 38,96
9	г. Караганда, Центральный парк культуры и отдыха	$41,41 \pm 0,72$ 11,64	$1,11 \pm 0,02$ 9,35	$0,69 \pm 0,01$ 13,42	$0,99 \pm 0,01$ 7,45
10	г. Караганда, парк Победы	$49,17 \pm 0,49$ 6,66	$1,37 \pm 0,20$ 98,75	$0,44 \pm 0,03$ 44,86	$0,57 \pm 0,03$ 29,99
11	г. Темиртау, парк Восток	$37,65 \pm 0,97$ 17,30	$1,13 \pm 0,02$ 10,60	$0,45 \pm 0,02$ 22,41	$0,52 \pm 0,02$ 19,73
12	г. Темиртау, автостанция, сквер	$69,46 \pm 1,58$ 15,22	$1,43 \pm 0,03$ 13,31	$0,50 \pm 0,01$ 18,28	$1,18 \pm 0,06$ 32,46
13	г. Балхаш, Акимат, сквер	$59,44 \pm 0,77$ 8,66	$1,42 \pm 0,04$ 17,03	$0,48 \pm 0,02$ 27,25	$0,68 \pm 0,04$ 35,31
14	г. Балхаш, районная прокуратура	$55,57 \pm 1,01$ 12,24	$1,46 \pm 0,03$ 15,85	$0,59 \pm 0,01$ 14,23	$1,10 \pm 0,09$ 56,37
15	г. Караганда, Майкудук, парк	$54,90 \pm 0,59$ 7,22	$1,48 \pm 0,03$ 13,94	$0,52 \pm 0,01$ 16,32	$0,88 \pm 0,09$ 65,94

Примечание. В числителе $M \pm m$, в знаменателе — коэффициент вариации C_v .

Максимальные значения толщины хвои отмечены у образцов, собранных в парке Майкудука г. Караганды (1,48 мм), в г. Балхаше (1,42–1,46 мм), в сквере автостанции г. Темиртау (1,43 мм); а минимальные показатели в г. Жезказгане (0,64 мм) и с. Улытау (0,73 мм). Данный признак варьировал на уровне от 9,35 до 98,75. Минимальные значения коэффициента вариации отмечены в Центральном парке г. Караганды (C_v 9,35), г. Каркаралы (9,44–9,45), парке Восток г. Темиртау (10,60). Максимальные показатели коэффициента вариации отмечены для парка Победы г. Караганды (98,75).

Показатели ширины хвои сосны обыкновенной изменялись в менее широких пределах. Так, максимальные значения зафиксированы для г. Сатпаева (1,96 мм) и с. Улытау (1,47 мм); минимальные — для парка Победы г. Караганды (0,44 мм), парка Восток г. Темиртау (0,45 мм), г. Балхаша (0,48 мм). Признак варьирует на среднем и высоком уровнях. Так, минимальные значения коэффициента вариации отмечены для г. Каркаралы (C_v 10,59), максимальные в парке Победы г. Караганды (44,86).

Показатели среднего оборота хвои вокруг своей оси изменялись от 0,52 до 1,37. Так, минимумы выявлены для проб, отобранных в парке Восток г. Темиртау (0,52 оборота), парке Победы г. Караганды (0,57) и парке Наурыз г. Жезказгана (0,58). Максимальные значения отмечены в пробах из г. Сатпаева (1,37 оборота), сквера возле Акимата г. Темиртау (1,18 оборота) и посадках возле Акимата г. Каркаралы (1,17 оборота). С минимальным коэффициентом признак варьирует в образцах хвои из Центрального парка г. Караганды (C_v 7,45), с. Улытау и парке г. Каркаралы (по 10,08). Максималь-

ные коэффициенты вариации определены для проб из г. Балхаша (56,37) и парка Майкудука г. Караганды (56,37).

Заключение

Таким образом, можно отметить, что наблюдаются достоверные отличия по морфологии и степени варьирования признаков хвои сосны обыкновенной из разных точек сбора. Установлено, на незагрязненных и малозагрязненных участках (гг. Каркаралы, Сатпаев, пос. Улытау) наблюдаются максимальные показатели длины и ширины листа, тогда как на загрязненных и сильнозагрязненных участках (гг. Балхаш, Караганды и Темиртау) выявлены минимальные значения указанных выше признаков. Не выявлено достоверной разницы между образцами листьев сосны по такому показателю, как толщина листовой пластины. Показатели среднего оборота хвои имели обратную зависимость. Так, на малозагрязненных участках эти значения были минимальными, а на загрязненных — максимальными.

Отмечена разница по показателям коэффициента вариации по точкам отбора проб хвои. На наиболее загрязненных участках наблюдается варьирование на среднем и высоком уровнях, тогда как на малозагрязненных и незагрязненных участках — на низком уровне.

Полученные данные могут использоваться для биоиндикации окружающей среды в населенных пунктах Карагандинской области.

Список литературы

- 1 Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. пос. / О.А. Ляшенко. — СПб., 2012. — 67 с.
- 2 Бухарина И.Л. Городские насаждения: экологический аспект / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Большова. — Ижевск: УдГУ, 2012. — 206 с.
- 3 Ташекова А.Ж. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды / А.Ж. Ташекова, А.С. Торопов // Изв. ТПУ. Сер. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 328, № 5. — С. 114–124.
- 4 Molnar V.E. Use of leaves as bioindicator to assess air pollution based on composite proxy measure (APTI), dust amount and elemental concentration of metals / V.E. Molnar, D. Tozser, S. Szabo, B. Tothmeresz, E. Simon // Plants. — 2020. — Vol. 9 (12). — Article ID 1743. <https://doi.org/plants9121743>
- 5 Glibovytska N.I. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution / N.I. Glibovytska, K.B. Karavanovych // Ukrainian Journal of Ecology. — 2018. — Vol. 8 (3). — P. 322–327.
- 6 Скрипальщикова Л.Н. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярска / Л.Н. Скрипальщикова, И.А. Днепровский, В.В. Стасова, М.А. Пляшечник, Н.В. Грешилова, О.В. Калугина // Сиб. лес. журн. — 2016. — № 3. — С. 45–56. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160305>
- 7 Кузьмин С.Р. Морфологические особенности хвои у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным болезням / С.Р. Кузьмин, Н.А. Кузьмина // Экология. — 2015. — № 2. — С. 156–160. <https://doi.org/S0367059715010084>
- 8 Шаяхметова Р.И. Анатомические особенности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартовского района, ХМАО-Югра / Р.И. Шаяхметова, Н.Н. Егорова // Вестн. АГАУ. — 2016. — № 6 (140). — С. 72–77.
- 9 Lesiczka P. Variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) called Tabórz pine (Forest District Miłomłyn) expressed in analysis of morphology of needle traits and polymorphism of microsatellite DNA / P. Lesiczka, E.M. Pawlaczyk, B. Łabiszak, L. Urbaniak // Forest Research Paper. — 2017. — Vol. 78 (2). — P. 136–148. <https://doi.org/10.1515/frp-2017-0015>
- 10 Гребенева О.В. Современная оценка загрязнения атмосферного воздуха в г. Караганде / О.В. Гребенева, М.Ю. Алешина, Н.К. Смагулов // Медицина и экология. — 2018. — № 3. — С. 26–31.
- 11 Жакатаева Б.Т. Атмосферные загрязнения г. Караганды / Б.Т. Жакатаева, З.П. Журавлева // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Биология. Медицина. География. — 2010. — № 3 (59). — С. 79–84.
- 12 Сауткина Т.А. Морфология растения / Т.А. Сауткина. — М., 2012. — 242 с.
- 13 Удольская Н.Л. Методика биометрических расчетов / Н.Л. Удольская. — Алма-Ата: Наука, 1976. — 45 с.
- 14 Рыжова Ю.А. *Pinus sylvestris* как индикатор атмосферного загрязнения: дис. ... магистра наук / Ю.А. Рыжова. — Пенза, 2018. — 62 с.

К.А. Тулешова, А.К. Қали, Д.К. Кыздарова, Е.К. Кейкин

Қарағанды облысы аумағында жиналған қарағай жапырақтарының морфологиялық өзгеріштігін зерттеу

Өсімдік жапырақтарының морфологиялық көрсеткіштерін қолдану арқылы биоиндикациялау қоршаған ортаның ластануын тез және тиімді бағалаудың маңызды бағыты болып табылады. Қарағанды облысы тау-кен металлургия кәсіпорындарының қызметі әсерінен шығарындылар деңгейі жоғары өнеркәсіптік аймақ болып ерекшеленеді. Зерттеудің мақсаты — Қарағанды облысы (Орталық Қазақстан) аумағында яғни, Қарағанды, Теміртау, Сәтбаев, Балқаш, Жезқазған қалалары және Ұлытау кентіндегі әртүрлі өсу орындарында жиналған *Pinus sylvestris* ижелерінің морфометриялық көрсеткіштерін зерттеу. Мақалада кәдімгі қарағай инесінің сыртқы түрі, қалыңдығы ұзындығы, ені, және өз осінің айналасындағы орташа айналымын бағалау арқылы қарағай ижелерінің морфометриялық көрсеткіштерін зерттеу нәтижелері берілген. Ластанған жерлерде жапырақтың ұзындығы мен енінің ең аз мәндері, ось айналасындағы орташа айналымның максималды мәндері және белгілердің өзгеру коэффициенті байқалатыны анықталды. Аз ластанған жерлерде жапырақтың ұзындығы мен енінің максималды мәндері, зерттелетін белгілердің ең аз өзгеру дәрежесі белгіленді. «Жапырақтың қалыңдығы» көрсеткіштері бойынша тәжірибе нұсқаларында айтарлықтай айырмашылық табылған жоқ. Алынған мәліметтерді қоршаған ортаның ластануын биоиндикациялау үшін пайдалануға болады.

Кілт сөздер: *Pinus sylvestris*, Қарағанды облысы, биоиндикация, морфология, ижелер, метрикалық көрсеткіштер, өзгеріштік.

K.A. Tuleshova, A.K. Kali, D.K. Kyzdarova, E.K. Keikin

Study of morphological variability of *Pinus sylvestris* leaves collected in the Karaganda region

Bioindication using morphological indicators of plant leaves is an urgent direction for a quick and inexpensive assessment of environmental pollution. Karaganda region is an industrial region with a high level of emissions due to the activities of mining and metallurgical enterprises. The purpose of this paper to study the morphometric indicators of *Pinus sylvestris* needles collected in various places of growth in the Karaganda region (Central Kazakhstan): the cities of Karaganda, Temirtau, Satpayev, Balkhash, Zhezkazgan, Ulytau village. This article presents the study results of morphometric indicators of pine needles with an assessment of the appearance, length, width, thickness of needles, and average rotation around its own axis. It is found that in more contaminated areas, minimum values of sheet length and width, maximum values of average rotation around the axis, and the coefficient of variation of features are observed. Maximum values of sheet length and width, minimum degree of variation of studied features are noted in low-polluted areas. The thickness of the sheet does not reveal a reliable difference in the variants of the experience. The obtained data can be used for bioindication of environmental pollution.

Keywords: *Pinus sylvestris*, Karaganda region, bioindication, morphology, needle, metric parameters, variation.

References

- 1 Liashenko, O.A. (2012). *Bioindikatsiia i biotestirovanie v okhrane okruzhaiushchei sredy [Environmental Bioindication and Biotesting]*. Saint Petersburg [in Russian].
- 2 Bukharina, I.L., & Bolshova, O.G. (2012). *Gorodskie nasazhdeniia: ekologicheskii aspekt [Urban plantings: ecological aspect]*. Izhevsk: Udmurt State University [in Russian].
- 3 Tashekova, A.Zh., & Toropov, A.S. (2018). Ispolzovanie listev rastenii kak biogeokhimicheskikh indikatorov sostoiianiia gorodskoi sredy [Application of leaves as biogeoindicators of urban environment state]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya Inzhiniring georesursov — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 328 (5); 114–124 [in Russian].
- 4 Molnar, V.E., Tozser, D., Szabo, S., Tothmeresz, B., & Simon, E. (2020). Use of leaves as bioindicator to assess air pollution based on composite proxy measure (APTI), dust amount and elemental concentration of metals. *Plants*, 9 (12); 1743. <https://doi.org/plants9121743>
- 5 Glibovytska, N.I., & Karavanovych, K.B. (2018). Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (3); 322–327.

- 6 Skripalshchikova, L.N., Dneprovskii, I.A., Stasova, V.V., Pliashchnik, M.A., Greshilova, N.V., & Kalugina, O.V. (2016). Morfoloġo-anatomicheskie osobennosti khvoi sosny obyknovЕННОi pod vlianiem promyshlennykh vybrosov goroda Krasnoiarska [Morphological and anatomical characteristics of Scots pine needles under industrial pollution impact of Krasnoyarsk city]. *Sibirskii lesnoi zhurnal — Siberian Forest Journal*, 3; 45–56 [in Russian]. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160305> [in Russian].
- 7 Kuzmin, S.R., & Kuzmina, N.A. (2015). Morfoloġicheskie osobennosti khvoi u sosny obyknovЕННОi s raznoi ustoichivostiu k gribnym bolezniam [Morphological distinctions of needles in Scots Pine with various resistance levels to fungal diseases]. *Ekologiya — Ecology*, 2; 156–160 [in Russian]. <https://doi.org/S0367059715010084> [in Russian].
- 8 Shaiakhmetova, R.I., & Egorova, N.N. (2016). Anatomicheskie osobennosti khvoi sosny obyknovЕННОi (*Pinus sylvestris* L.) na territorii Nizhnevartovskogo raiona, KhMAO–Yugra [Anatomical features of needles of common pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in the Nizhnevartovsk district, Khanty-Mansiysk Autonomous Area–Yugra]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of Altai State Agrarian University*, 6 (140); 72–77 [in Russian].
- 9 Lesiczka, P., Pawlaczyk, E.M., Łabiszak, B., & Urbaniak, L. (2017). Variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) called Tabórz pine (Forest District Miłomłyn) expressed in analysis of morphology of needle traits and polymorphism of microsatellite DNA. *Forest Research Paper*, 78 (2); 136–148. <https://doi.org/10.1515/frp-2017-0015>
- 10 Grebeneva, O.V., Aleshina, M.Yu., & Smagulov, N.K. (2018). Sovremennaia otsenka zagriazneniia atmosfernogo vozdukhа v g. Karagande [Modern assessment of air pollution in Karaganda]. *Meditsina i ekologiya — Medicine and Ecology*, 3; 26–31 [in Russian].
- 11 Zhakataeva, B.T., & Zhuravleva, Z.P. (2010). Atmosferynye zagriazneniia g. Karagandy [Atmospheric pollution of Karaganda city]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya Biologiya. Meditsina. Geografiia — Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*, 3 (59); 79–84 [in Russian].
- 12 Sautkina, T.A. (2012). *Morfologiya rasteniia [Plants morphology]*. Moscow [in Russian].
- 13 Udolskaia, N.L. (1976). *Metodika biometricheskikh raschetov [Methodology of biometric account]*. Alma-Ata: Nauka [in Russian].
- 14 Ryzhova, Yu.A. (2018). *Pinus sylvestris* kak indikator atmosfernogo zagriazneniia [*Pinus sylvestris* as indicator of atmospheric pollution]. *Master's thesis*. Penza [in Russian].

Б.А. Туралин^{1*}, А.Н. Куприянов², Н.В. Курбатова³, З.А. Инелова³, М.С. Курманбаева³,
К.Т. Абидкулова³, А.А. Базаргалиева¹, Г.Б. Адманова¹, А.Ж. Чилдибаева³

¹Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан;

²«Кузбасский ботанический сад» Института экологии человека Федерального исследовательского центра
угля и углехимии Сибирского отделения РАН, Кемерово, Россия;

³Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: bauke_1982@mail.ru

Особенности формирования корневой системы *Crambe tataria* Sebeók в Западном Казахстане

Морфология корневых систем имеют исключительно важное значение для научно обоснованной стратегии сохранения редких и исчезающих растений. Изучена морфология корневой системы *Crambe tataria* Sebeók, редкого и исчезающего растения, внесенного в Красную книгу Казахстана, произрастающего на меловых сопках Подуральского плато в долине реки Уил. Корневые системы изучались по методу И.О. Байтулина отдельно для каждого возрастного состояния. На первых стадиях своего развития происходит опережающее развитие корневой системы. В имматурном состоянии формируется длинный стержневой маловетвистый корень, достигающий 40 см глубины. В виргинильном состоянии корни достигают глубины 100–150 см, имеют диаметр в основании розетки 2–2,5 (3) см. Согласно классификации корневых систем, у взрослых особей корневая система омброфитная, она не достигает уровня грунтовых вод. По глубине проникновения в грунт — средняя (до 4 м.). Распространение боковых корней пониклое или полупониклое — корни направлены вниз под углом 45°. Густота ветвления боковых корней (отношение количества боковых корней первого порядка к длине основного корня (шт/см) редкое (0,1–0,5 шт/см) или слабое 0,2–1,0 шт/см) по этому показателю корневая система относится к редко- и слабоветвящейся.

Ключевые слова: *Crambe tataria* Sebeók, Красная книга Казахстана, Подуральское Плато, корневая система, возрастные состояния.

Введение

Корень является важнейшим вегетативным органом, имеющим сложное строение морфоструктурной единицей, выполняющей различные функции и осуществляющей динамическую связь с окружающей средой [1]. Глубоко проникая в почву, пронизывая ее в разных направлениях густой сетью тонких разветвлений, корни непрерывно снабжают надземные части водой и элементами минерального питания. Они вступают в сложнейшие взаимоотношения, не только с абиотическими элементами почвы, но и с соседними видами растений, почвенными организмами, водорослями, грибами и животными. Весьма сложны и многообразны взаимодействия корневой системы с надземными органами растений. Степень развития, характер распространения корневой системы обуславливают уровень минерального питания и водоснабжения растений, а также их устойчивость к воздействию неблагоприятных условий окружающей среды. С корневой системой тесно связано естественное и искусственное вегетативное размножение растений.

Знание закономерностей и формирования морфологической структуры корневой системы, роста и развития, распространения и глубины проникновения каждого типа корней в почву на отдельных этапах онтогенеза в конкретных условиях их произрастания, выяснение характера воздействия различных факторов на развитие корней и связанных с этим коррелятивных изменений в росте и развитии надземных органов имеют исключительно важное значение, как для эффективной агротехники, так и научно обоснованной стратегии сохранения редких и исчезающих растений.

В Казахстане наиболее ведущей научной школой является школа И.О. Байтулина и А.А. Аметова [2–8].

Crambe tataria Sebeók — южноевропейско-древнесредиземноморский вид [9]. Приурочен, главным образом, к степной зоне России, предгорьям Кавказа (Предкавказье) и южной части Крымского полуострова [10, 11]. На территории Казахстана *C. tataria* встречается на меловых обнажениях его западной части [12, 13]. Основными местообитаниями *C. tataria* являются меловые склоны гор

(рис. 1) [14–18]. На протяжении всего ареала *C. tataria* встречается редко, его местообитания часто разрушаются, а само растение нуждается в повсеместной охране [19, 20].



Рисунок 1. *Crambe tataria* на склоне меловых сопок

C. tataria имеет несколько характерных особенностей биологии, связанных с нетипичными местообитаниями. Ценопопуляции *C. tataria* неразрывно связаны с меловыми выходами, поэтому весь его облик отражает экологические особенности вида.

Распространение, возрастные состояния, биологические особенности *C. tataria* ранее были хорошо изучены [21–23]. Изучением морфологии корневых систем у близких видов рода *Crambe* занимались неоднократно [24–26], однако вопросам формирования корневых систем *C. tataria* уделялось недостаточное внимание. Установление основных признаков корневой системы позволяет составить полное представление о биологических свойствах растения, особенно это важно для стенотопных растений, обитающих в специфических экологических и почвенных условиях.

Целью наших исследований являлось изучение формирования корневой системы *C. tataria* на территории Западного Казахстана.

Материалы и методы исследований

Особенности морфологии корневых систем *C. tataria* изучали на Подуральском плато в долине реки Уил в 2019–2020 гг. Подуральское плато представляет собой пологоувалистую высокую равнину с ясно выраженным эрозионным рельефом с абсолютными высотами 250–400 м. Характерной особенностью Подуральского плато является сложное и достаточно глубокое его расчленение речными долинами. С востока на запад высоты падают от 400 до 100 м над уровнем моря (рис. 2). Вдоль широких междуречий, разделяющих бассейны наиболее крупных рек, на протяжении 400 км с севера на юг располагаются меловые возвышенности междуречья бассейна р. Кара-Хобда (приток Илека), текущей на северо-запад, и р. Уил, текущей на юго-запад, а также между реками Уил и Сагиз представляют собой возвышенности с краями, сильно изрезанными притоками этих рек. В бассейнах указанных выше рек выделяются платообразные возвышенности Акшатау — 244 м, Теректыгау — 245 м, Каратау — 271 м. Популяции *C. tataria* приурочены к глинисто-карбонатным породам юрского возраста и выходам чистого мела [17,18]. Исследования по изучению корневых систем проводились в естественных популяциях на территории Актюбинской области: Хобдинский р-н, 20 км западнее с. Акраб, 220 м над ур. м., 50°51836' с.ш., 54°93359' в.д.; Уилский р-н, 40 км от с. Уил, сопки Акшатау, 160 м над ур. м., 49°93420' с.ш., 54°51433' в.д.



Рисунок 2. Типичные местообитания *C. tataria* на меловых сопках

В пределах исследуемого района на поверхность выходят глинисто-карбонатные породы мощностью до 300 м. В литологическом отношении они представлены известковыми глинами и мергелями с прослойками писчего мела, в некоторых случаях преобладает чистый мел. Кроме того, некоторые популяции *C. tataria* приурочены к обнажениям крутых склонов с выходами на поверхность плотных слоев коренной толщи и мела [27].

Почвообразующими породами в южных опустыненных степях на светло-каштановых почвах являются суглинистые и меловые отложения. На мелах формируются светло-каштановые, малоразвитые и неполноразвитые щебнистые почвы, вскипающие с поверхности.

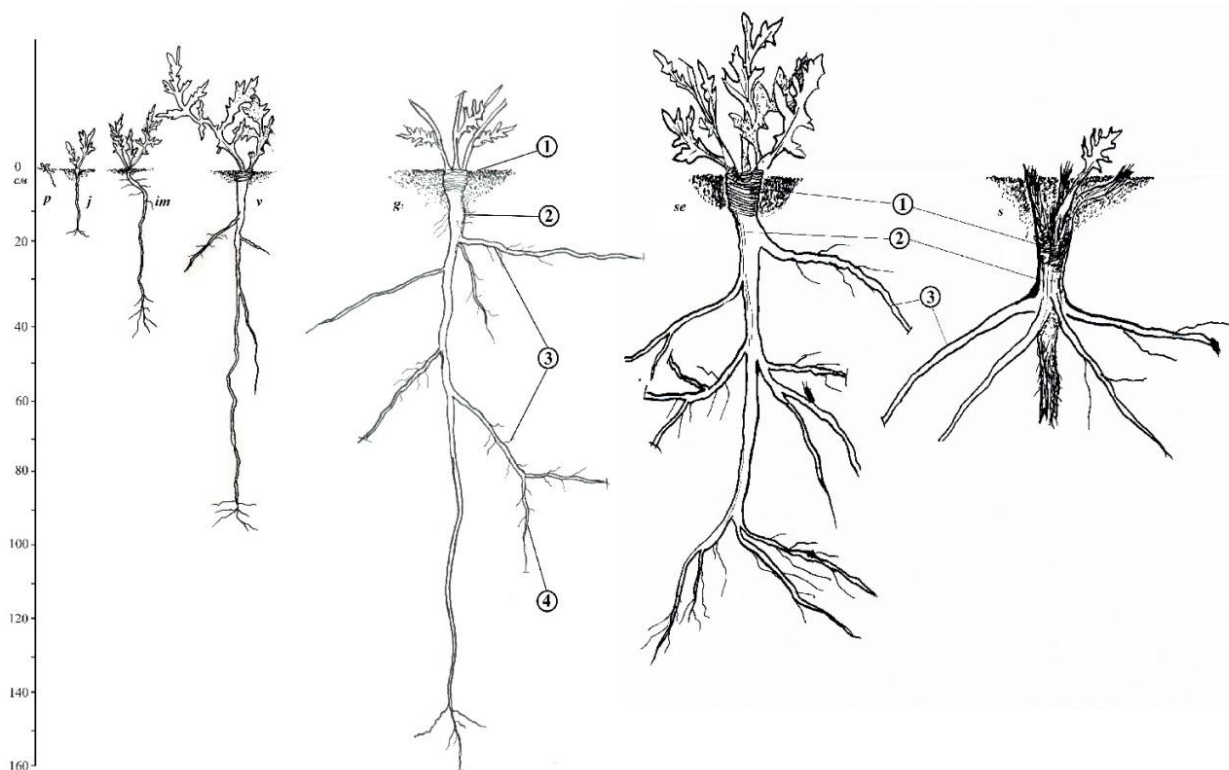
На выходах меловых обнажений Подуральского плато формируются солянковидно-полынные (*Artemisia salsoloides* Willd.) сообщества, проективное покрытие составляет не более 30 %. На верхних частях меловых склонов покрытие уменьшается до 10–15 %. Наиболее распространенными видами являются *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Alyssum tortuosum* Waldst. et Kit. ex Willd., *Anthemis trozkiana* Claus ex Bunge, *Astragalus albicans* Bohg., *A. testiculatus* Pall., *Centaurea kasakorum* Pjin, *Echinops meyeri* (DC.) Pjin, *Ephedra lomatolepis* L., *Glycyrrhiza korshinskyi* Grig., *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., *Rindera tetraspis* Pall., *Taraxacum turgaicum* Schischk., *Verbascum phoeniceum* L., *Zygophyllum pinnatum* Cham. Для ценофлоры *C. tataria* характерны подушковидные и стелющиеся формы растений: *Anabasis cretacea* Pall., *A. truncata* (Schrenk) Bunge, *Linaria cretacea* Fisch. Ex Spreng [10, 15].

Корневые системы изучались траншейным методом [28]. Модельные растения выбирались в соответствии с возрастными состояниями [21]. Возле модельного растения выкапывалась траншея, стенка которой проходила в 20 см от основания корня. Ширина траншеи 60–80 см, глубина и длина зависела от протяженности корневой системы. Корни препарировались, отделялись от почвы. По мере освобождения корней проводилась зарисовка скелетных корней в масштабе 1:20. Описание корневых систем проведено по стандартной методике [29]. Классификация корневых систем проводилась морфогенетическим методом И.О. Байтулина [1]. В поле зарисовывали общую схему расположения корней. После выкопки корневую систему заворачивали во влажную бумагу и помещали в полиэтиленовые пакеты. В лабораторных условиях корни раскладывали и целиком или фрагментами зарисовывали на кальке через стекло с подсветкой.

Результаты и их обсуждение

Прорастание семян происходит в апреле, стадия проростков (появление семядолей — отмирание семядолей) продолжается 2–3 недели. У молодых проростков (*p*) формируется корешок 2,5–3 см, в этой стадии происходит опережающее развитие главного корня, который ко времени отмирания се-

мядолей 12 см. Корень стержневой, маловетвистый, на нем формируются очень тонкие горизонтальные корни первого порядка 0,6–1,5 см. (рис. 3*p*).



Возрастные периоды и состояния: *p* — проростки; *j* — ювенильное состояние; *im* — имматурное состояние; *g₂* — зрелое генеративное состояние; *se* — субсенильное возрастное состояние; *s* — сенильное возрастное состояние

Рисунок 3. Формирование корневых систем *C. tataria*

В ювенильное состояние растения *C. tataria* переходят через 40–60 дней после появления всходов, образуется розетка из молодых листьев с цельной или лопастной пластинкой. Корневая система представлена главным стержневым корнем, достигающим длины 20–30 см. Корень вертикально уходит в почву, не ветвится, на нем образуются мелкие волосовидные корни первого порядка. На глубине 30 см интенсивность ветвления увеличивается (рис. 3*j*).

В имматурном состоянии (*im*) у *C. tataria* образуются довольно крупные листья 4–5 см длины от лопастных до практически перисто-раздельных (основание листочка низбегают на черешок). В основании розетки листьев образуется укороченное розеточное корневище, переходящее в длинный стержневой маловетвистый корень, достигающий 40 см глубины, диаметр у корневой шейки достигает 10 мм. Образование тонких корешков редкое, 0,1–0,5 шт/см., с глубиной интенсивность ветвления увеличивается до слабого (0,5–1,0 шт/см) (рис. 3*im*).

Виргинильное возрастное состояние (*v*) начинается с момента появления перисто-лопастных листьев с долями нисбегающими на черешок листа. Длится это возрастное состояние в неблагоприятных условиях меловых возвышенностей более десяти лет. Возраст виргинильных особей определяется количеством небольших рубцов в виде тонкого валика, образующихся на укороченном корневище. Корни 7–9-летних виргинильных особей могут достигать глубины 100 см, иногда 150 см, и иметь толщину в основании розетки 2–2,5(3) см. Главный корень стержневого типа, цилиндрический и редко ветвящийся. В этом возрастном состоянии возможно появление мощных боковых корней, имеющих полупониклое расположение, интенсивность ветвления рыхлое (1–2 шт/см), степень ветвления низкая.

Генеративный период (*g*) — это время от первого до последнего цветения. В лощинах, на северных и северо-восточных склонах переход из виргинильного в генеративное состояние происходит достаточно быстро, в 5–7-летнем возрасте. Корневая система представлена толстым цилиндрическим

стержневым маловетвящимся корнем диаметром до 7–10 см, уходящим в почву на глубину более 160 см. На главном корне образуется 3–5 боковых корня первого порядка, боковые корни третьего порядка образуются редко. Степень ветвления корней средний, интенсивность ветвления редкое.

Постгенеративный период: субсенильное состояние (*se*) начинается с частичной мацерацией корневища и образования нескольких парцел, которые образуют парциальные кусты. Образование вегетативных розеточных побегов продолжается, но уменьшается количество генеративных побегов, которые образуются не на каждом парциальном кусте. Стержневой корень начинает отмирать с глубины 5–60 см, его функцию выполняют интенсивно разрастающиеся боковые корни первого порядка. Ветвление корней остается слабым.

В сенильном состоянии (*s*) корневая система представлена отмирающим корневищем с одиночными вегетативными розетками и отмиранием главного корня. Возраст сенильного растения подсчитать сложно, поскольку происходит почти полное разрушение корневища, по экспертным оценкам, на юго-западных склонах это происходит не менее чем через 12–15 лет, в благоприятных условиях северо-восточных склонов в возрасте не менее 30 лет.

Заключение

Корневая система *C. tataria* омброфитная (не достигает уровня грунтовых вод), по глубине проникновения в грунт — средняя (1,5–4 м). Распространение боковых корней пониклое или полупониклое — корни направлены вниз под углом 45°. Густота ветвления боковых корней (отношение количества боковых корней первого порядка к длине основного корня, в шт/см) — редкая (0,1–0,5 шт/см) или слабая (0,2–1,0 шт/см). По этому показателю корни *C. tataria* относятся к редко и слабоветвящимся.

Формирование длинного слабо ветвящегося корня является видовым отличием *Cataria* от других видов. У близкого вида *C. orientalis*, корневую систему которого изучали М.Т. Балтабаев и М.А. Карлыбаева [26], в более мезофитных условиях Южного Приаралья, образование боковых корней отмечено уже в виргинильном возрастном состоянии. Длинный стержневой корень *C. tataria* позволяет извлекать необходимое количество влаги в сухих экстремальных местообитаниях. Растение максимально приспособлено для произрастания в аридных условиях северных пустынь на специфическом субстрате меловых поднятий.

Список литературы

- 1 Байтулин И.О. Основы ризологии / И.О. Байтулин. — Алматы: Ғылым, 2001. — 330 с.
- 2 Байтулин И.О. Особенности развития растений на щебнистых почвах каньона р. Чарын / И.О. Байтулин, А.А. Аметов // Биологические основы использования растительного покрова Казахстана. — Алма-Ата, 1987. — С. 70–77.
- 3 Байтулин И.О. Корневая система растений лугово-серозёмных солончаковых почв Межбарханной равнины / И.О. Байтулин, А.А. Аметов // Корневая система растений пустынь Казахстана — Алма-Ата, 1973. — С. 137–141.
- 4 Байтулин И.О. Корневая система растений умеренной зон Алма-Атинской области / И.О. Байтулин, А.А. Аметов // Корневая система растений пустынь Казахстана — Алма-Ата, 1973. — С. 117–136.
- 5 Байтулин И.О. Корневая система растений естественных фитоценозов на полнопрофильных солонцах / И.О. Байтулин, Н. Мухитдинов // Изв. АН КазССР. Сер.биол. — 1969. — № 4. — С. 17–23.
- 6 Байтулин И.О. Корневая система растений в условиях гидроморфных почв Кызыл-Ординской области / И.О. Байтулин, Х. Балтаев // Корневая система растений пустынь Казахстана. — Алма-Ата, 1973. — С. 161–182.
- 7 Байтулин И.О. Глубина проникновения корней эдификаторов естественных фитоценозов пустынь Алма-Атинской области / И.О. Байтулин // Проблемы освоения пустынь. — 1972. — № 5. — С. 54, 55.
- 8 Байтулин И.О. Материалы к изучению различных типов пустынь Алма-Атинской области / И.О. Байтулин // Корневая система растений пустынь Казахстана. — Алма-Ата, 1973. — С. 3–39.
- 9 Губанов И.А. Иллюстрированный определитель растений Средней России / А. Губанов, К.В. Киселева, В.С. Новиков, В.Н. Тихомиров // Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). — М.: КМК, 2003. — Т. 2. — С. 501.
- 10 Абрамова Т.И. Растительность меловых обнажений степной части бассейна р. Дона в пределах Ростовской и Волгоградской областей / Т.И. Абрамова // Бот. журн. — 1973. — Т. 58, № 4. — С. 562–570.
- 11 Иванов А.Л. Конспект флоры Российского Кавказа (сосудистые растения) / А.Л. Иванов. — Ставрополь, 2009. — 341 с.
- 12 Васильева А.Н. Катран — *Crambe L.* / А.Н. Васильева // Флора Казахстана. — Алма-Ата, 1961. — Т. 4. — С. 303–305.

- 13 Котов М.И. Катран — *Crambe L.* / М.И. Котов // Флора европейской части СССР. — Л.: Наука, 1979. — Т. 4. — С. 48–52.
- 14 Айпеисова С.А. Конспект флоры Актюбинского флористического округа / С.А. Айпеисова. — Актюбе, 2012. — 175 с.
- 15 Дарбаева Т.Е. Меловая растительность урочища Алгабас // Эколого-социальные проблемы использования природных ресурсов Западного Казахстана / Т.Е. Дарбаева — Уральск, 1990. — С. 45–47.
- 16 Дарбаева Т.Е. Анализ флоры меловых обнажений Северного Прикаспия / Т.Е. Дарбаева // Экосистемы Западного Казахстана. — Уральск, 1999. — С. 35–41.
- 17 Дарбаева Т.Е. Конспект флоры меловых возвышенностей Северо-Западного Казахстана / Т.Е. Дарбаева. — Уральск, 2002. — 107 с.
- 18 Дарбаева Т.Е. Эколого-исторические свиты флоры меловых возвышенностей Северо-Западного Казахстана / Т.Е. Дарбаева // Бот. журн. — 2003. — Т. 88, № 9. — С. 66–80.
- 19 Красная книга СССР. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. — М.: Лесная промышленность, 1984. — Т. 2. — 478 с.
- 20 Красная книга Казахстана. Растения. — Астана: Art-Print XXI, 2014. — Т. 2. Ч. 2. — 452 с.
- 21 Куприянов А.Н. Красная книга Казахстана: *Crambe tataria* Sebeók / А.Н. Куприянов, Б.А. Туралин, Н.В. Курбатова, М.С. Курманбаева, К.Т. Абидкулова, А.А. Базарғалиева // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. — 2020. — Вып. 26. — С. 28–48.
- 22 Kupriianov A.N. Features of age-related conditions of the *Crambe tataria* Sebeók in Western Kazakhstan / A.N. Kupriianov, B.A. Turalin, N.V. Kurbatova, M.S. Kurmanbaeva, K.T. Abidkulova, A.A. Bazargaliev // Eurasian Journal of Biosciences. — 2020. — Vol. 14 (1). — P. 177–182.
- 23 Туралин Б.А. Демографическая структура популяций *Crambe tataria* Sebeók Западного Казахстана / Б.А. Туралин, А.Н. Куприянов // Естественные и математические науки: научные приоритеты ученых. — Пермь, 2019. — С. 13–15.
- 24 Балтабаев М. Развитие корневой системы *Crambe amabilis* второго года вегетации / М. Балтабаев // Актуальные проблемы биологии, экологии и почвоведения. — Ташкент, 2006. — С. 12, 13.
- 25 Балтабаев М.Т. Развитие корневой системы у катрана восточного (*Crambe orientalis* L.) в условиях Южного Приаралья / М. Балтабаев // Современные проблемы структурной ботаники. — Ташкент, 2010. — С. 22, 23.
- 26 Балтабаев М.Т. Рост и развитие *Crambe orientalis* L. в условиях Южного Приаралья / М.Т. Балтабаев М.Т., М.А. Карлыбаева // Проблемы науки. — 2017. — № 17 (99). — С. 20–22.
- 27 Kupriianov A.N. The structure of the populations of *Crambe tataria* Sebeók in the Aktobe Region / A.N. Kupriianov, B.A. Turalin, N.V. Kurbatova, M.S. Kurmanbaeva, K.T. Abidkulova, A.A. Bazargaliev // Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series. — 2020. — Vol. 131 (2). — P. 23–30. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-23-30>
- 28 Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений / П.К. Красильников — Л.: Наука, 1983. — 208 с.
- 29 Куприянов А.Н. Интродукция растений / А.Н. Куприянов — Кемерово, 2004. — 96 с.

Б.А. Туралин, А.Н. Куприянов, Н.В. Курбатова, З.А. Инелова, М.С. Курманбаева,
К.Т. Абидкулова, Ә.А. Базарғалиева, Г.Б. Адманова, А.Ж. Чилдибаева

Батыс Қазақстандағы *Crambe tataria* Sebeók тамыр жүйесінің қалыптасу ерекшеліктері

Тамыр жүйелерінің морфологиясы сирек кездесетін және жойылып бара жатқан өсімдіктерді сақтаудың ғылыми негізделген стратегиясы үшін өте маңызды. Ойыл өзені алқабындағы Орал маңы үстіртінің ұсақшоқысында өсетін, Қазақстанның Қызыл кітабына енгізілген сирек кездесетін және жойылып бара жатқан *Crambe tataria* Sebeók тамыр жүйесінің морфологиясы зерттелген. Тамыр жүйелері И.О. Байтулин әдісі бойынша әр жас жағдайы үшін бөлек зерттелді. Тамыр жүйесінің алғашқы дамуының кезеңдерінде озық даму жүреді. Иматуралық күйде ұзын кіндік тәрізді төмен тармақталған тамыр пайда болады, тереңдігі 40 см жетеді. Виргенилдік күйінде тамырлар 100–150 см тереңдікке жетеді, дегелек түбінде диаметрі 2–2, 5(3) см. Ересектердегі тамыр жүйелерінің жіктелуіне сәйкес тамыр жүйесі омброфитті, ол жер асты суларының деңгейіне жетпейді. Жерге ену тереңдігі бойынша орташа (4 м дейін). Жанама тамырларының таралуы көлбеу немесе жартылай дөңгелек — тамырлары 45° бұрышпен төмен бағытталған. Жанама тамырлардың тармақталу тығыздығы (бірінші ретті жанама тамырлар санының негізгі тамырлардың ұзындығына қатынасы (дана/см) сирек (0,1–0,5) дана/см) немесе әлсіз 0,2–1,0 дана/см) осы көрсеткіш бойынша тамыр жүйесі сирек және әлсіз тармақталуға жатады.

Кілт сөздер: *Crambe tataria* Sebeók, Қазақстанның Қызыл кітабы, Орал маңы үстірті, тамыр жүйесі, жас ерекшеліктері.

B.A. Turalin, A.N. Kupriyanov, N.V. Kurbatova, Z.A. Inelova, M.S. Kurmanbaeva,
K.T. Abidkulova, A.A. Bazargaliev, G.B. Admanova, A.Zh. Childibayeva

Features of the formation of the root system of *Crambe tataria* Sebeók in Western Kazakhstan

The morphology of root systems is paramount for a scientifically sound strategy for the conservation of rare and endangered plants. The morphology of the root system of *Crambe tataria* Sebeók, a rare and endangered plant listed in the Red Book of Kazakhstan, growing on the chalk hills of the Podural'sky Plateau in the valley of the Uilriver, was studied. Root systems were studied by the method of I.O. Baitulin separately for each age condition. At the first stages of its development, the root system develops ahead of time. In the immature state, a long rod-like low-branched root is formed, reaching 40 cm deep. In the virginal state, the roots reach a depth of 100–150 cm, have a diameter at the base of the socket 2–2.5(3) cm. According to the classification of root systems in adults, the root system is ombrophytic, it does not reach the groundwater level. The depth of penetration into the ground is average (up to 4 m). The spread of lateral roots is drooping or semi-drooping — the roots are directed downward at an angle of 45°. According to the density of branching of lateral roots (the ratio of the number of lateral roots of the first order to the length of the main root (pcs/cm) is rare (0.1–0.5 pcs/cm) or weak 0.2–1.0 pcs/cm), the root system is rare and weakly branching.

Keywords: *Crambe tataria* Sebeók, Red Book of Kazakhstan, Pre-Urals Plateau, root system, age conditions.

References

- 1 Baitulin, I.O. (2001). *Osnovy rizologii [Fundamentals of rhizology]*. Almaty: Gylym [in Russian].
- 2 Baitulin, I.O., & Ametov, A.A. (1987). Osobennosti razvitiia rastenii na shchebnistykh pochvakh kanona r. Charyn [Features of plant development on gravelly soils of the canyon of the Charyn river]. *Biologicheskie osnovy ispolzovaniia rastitel'nogo pokrova Kazakhstana — Biological bases of the use of the vegetation cover of Kazakhstan*. Alma-Ata, 70–77 [in Russian].
- 3 Baitulin, I.O., & Ametov, A.A. (1973). Kornevaia sistema rastenii lugovo-serozemnykh solonchakovatykh pochv Mezhbarkhannoi ravniny [The root system of plants of meadow-gray-earth saline soils of the Interbarkhan plain]. *Kornevaia sistema rastenii pustyn Kazakhstana — Root system of plants of deserts of Kazakhstan*. Alma-Ata, 137–141 [in Russian].
- 4 Baitulin, I.O., & Ametov, A.A. (1973). Kornevaia sistema rastenii umerennoi zon Alma-Atinskoi oblasti [Root system of plants of temperate zones of Alma-Ata region]. *Kornevaia sistema rastenii pustyn Kazakhstana — Root system of plants of deserts of Kazakhstan*. Alma-Ata, 117–136 [in Russian].
- 5 Baitulin, I.O., & Mukhitdinov, N. (1969). Kornevaia sistema rastenii estestvennykh fitotsenozov na polnoprofilnykh solontsakh [The root system of plants of natural phytocenoses on full-profile salt pans]. *Izvestiia Akademii nauk Kazakhskoi SSR. Seriya Biologiya — Proceeding of Academy of Sciences of Kazakh SSR, Biology Series*, 4; 17–23 [in Russian].
- 6 Baitulin, I.O., & Baltaev, H. (1973). Kornevaia sistema rastenii v usloviiakh gidromorfnykh pochv Kzyl-Ordinskoi oblasti [The root system of plants in the conditions of hydromorphic soils of the Kyzyl-Orda region]. *Kornevaia sistema rastenii pustyn Kazakhstana — Root system of plants of deserts of Kazakhstan*. Alma-Ata, 161–182 [in Russian].
- 7 Baitulin, I.O. (1972). Glubina proniknoveniia kornei edificatorov estestvennykh fitotsenozov pustyn Alma-Atinskoi oblasti [The depth of penetration of the roots of edificators of natural phytocenoses of the deserts of the Alma-Ata region]. *Problemy osvoeniia pustyn — Problems of desert development*. Alma-Ata, 54, 55 [in Russian].
- 8 Baitulin, I.O. (1973). Materialy k izucheniiu razlichnykh tipov pustyn Alma-Atinskoi oblasti [Materials for the study of various types of deserts of the Alma-Ata region]. *Kornevaia sistema rastenii pustyn Kazakhstana — Root system of plants of deserts of Kazakhstan*. Alma-Ata, 3–39 [in Russian].
- 9 Gubanov, I.A., Kiseleva, K.V., Novikov, V.S., & Tikhomirov, V.N. (2003). Illustrirovannyi opredelitel rastenii Srednei Rossii [Illustrated determinant of plants of Central Russia]. *Pokrytiemennye (dvudolnye: razdelnolepnyye) — Angiosperms (Dicotyledonous: Polypetalae)*. Moscow: KMK, 2 (2); 501 [in Russian].
- 10 Abramova, T.I. (1973). Rastitelnost melovykh obnazhenii stepnoi chasti basseina r. Dona v predelakh Rostovskoi i Volgogradskoi oblasti [Vegetation of Cretaceous outcrops of the steppe part of the Don River basin within the Rostov and Volgograd regions]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical Journal*, 58 (4); 562–570 [in Russian].
- 11 Ivanov, A.L. (2009). *Konspekt flory Rossiiskogo Kavkaza (sosudistyie rasteniia) [Russian Caucasus flora synopsis (vascular plants)]*. Stavropol [in Russian].
- 12 Vasileva, A.N. (1961). Katran — *Crambe* L. [*Crambe* L.]. *Flora Kazakhstana — Flora of Kazakhstan*, Vol. 4. Alma-Ata, 303–305 [in Russian].
- 13 Kotov, M.I. (1979). Katran — *Crambe* L. [*Crambe* L.]. *Flora evropeiskoi chasti SSSR — Flora of the European part of the USSR*, Vol. 4. Leningrad: Nauka [in Russian].
- 14 Aipiisova, S.A. (2012). *Konspekt flory Aktiubinskogo floristicheskogo okruga [Abstract of flora of Aktobe floral region]*. Aktobe [in Russian].

- 15 Darbaeva, T.E. (1990). Melovaia rastitelnost urochishcha Algas [Cretaceous vegetation of the Algas tract]. *Ekologo-sotsialnie problemy ispolzovaniia prirodnikh resursov Zapadnogo Kazakhstana — Ecological and social problems of the use of natural resources of Western Kazakhstan*. Uralsk, 45–47 [in Russian].
- 16 Darbaeva, T.E. (1999). Analiz flory melovykh obnazhenii Severnogo Prikaspiia [Analysis of the flora of Cretaceous outcrops of the Northern Caspian]. *Ekosistemy Zapadnogo Kazakhstana — Ecosystems of Western Kazakhstan*. Uralsk [in Russian].
- 17 Darbaeva, T.E. (2002). *Konspekt flory melovykh vozvyshehnostei Severo-Zapadnogo Kazakhstana [Synopsis of the flora of the Cretaceous uplands of North-Western Kazakhstan]*. Uralsk [in Russian].
- 18 Darbaeva, T.E. (2003). Ekologo istoricheskie svity flory melovykh vozvyshehnostei Severo-Zapadnogo Kazakhstana [Ecological-historical floristic species complexes of chalky hills in the North-Western Kazakhstan]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical journal*, 88 (9); 66–80 [in Russian].
- 19 Krasnaia kniga SSSR (1984). *Redkie i nakhodiashchiesia pod ugrozoi ischeznoeniia vidy zivotnykh i rastenii [The Red Book of the USSR. Rare and endangered species of animals and plants]*. Moscow: Lesnaia promyshlennost, 2 [in Russian].
- 20 (2014). Krasnaia kniga Kazakhstana. Rastenii [Red Date Book of Kazakhstan. Plants]. Vol. 2, Part 2. Astana: Art-Print XXI [in Russian].
- 21 Kupriyanov, A.N., Turlin, B.A., Kurbatova, N.V., Kurmanbaeva, M.S., Abidkulova, K.T., & Bazargalieva, A.A. (2020 a). Krasnaia kniga Kazakhstana: *Crambe tataria* Sebeók [The Red Book of Kazakhstan: *Crambe tataria* Sebeók]. *Botanicheskie issledovaniia Sibiri i Kazakhstana — Botanical research of Siberia and Kazakhstan*, 26; 28–48 [in Russian].
- 22 Kupriyanov, A.N., Turalin, B.A., Kurbatova, N.V., Kurmanbaeva, M.S., Abidkulova, K.T., & Bazargalieva, A.A. (2020 b). Features of age-related conditions of the *Crambe tataria* Sebeók in Western Kazakhstan. *Eurasian Journal of Biosciences*, 14 (1); 177–182.
- 23 Turalin, B.A., & Kupriyanov, A.N. (2019). Demograficheskaiia struktura populatsii *Crambe tataria* Sebeók Zapadnogo Kazakhstana [Demographic structure of the populations of *Crambe tataria* Sebeók of Western Kazakhstan]. *Estestvennie i matematicheskie nauki: nauchnye priority uchenykh — Natural and mathematical sciences: scientific priorities of scientists*. Perm [in Russian].
- 24 Baltabaev, M. (2006). Razvitie kornevoi sistemy *Crambe amabilis* vtorogo goda vegetatsii [Development of the *Crambe amabilis* root system of the second year of vegetation]. *Aktualnye problemy biologii, ekologii i pochvovedeniia — Actual problems of biology, ecology and soil science*. Tashkent, 12, 13 [in Russian].
- 25 Baltabaev, M.T. (2010). Razvitie kornevoi sistemy u katrana vostochnogo (*Crambe orientalis* L.) v usloviiakh Yuzhnogo Priaralia [The development of the root system in the eastern khatran (*Crambe orientalis* L.) in the conditions of the Southern Aral Sea region]. *Sovremennye problemy strukturalnoi botaniki — Modern problems of structural botany*. Tashkent, 22, 23 [in Russian].
- 26 Baltabaev, M.T., & Karlybaeva, M.A. (2017). Rost i razvitie *Crambe orientalis* L. v usloviiakh Yuzhnogo Priaralia [Growth and development of *Crambe orientalis* L. in the conditions Southern Aral Sea region]. *Problemy nauki — Problems of Science*, 17(99); 20–22 [in Russian].
- 27 Kupriyanov, A.N., Turalin, B.A., Kurbatova, N.V., Kurmanbayeva, M.S., Abidkulova, K.T., & Bazargaliyeva, A.A. (2020). The structure of the populations of *Crambe tataria* Sebeók in the Aktobe Region. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series*, 131(2); 23–30. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-23-30>
- 28 Krasilnikov, P.K. (1983). *Metodika polevogo izucheniia podzemnykh chastei rastenii [Methods of field study of underground parts of plants]*. Leningrad: Nauka [in Russian].
- 29 Kupriyanov, A.N. (2004). *Introduktsiia rastenii [Plant introduction]*. Kemerovo [in Russian].

B.Z. Yelkenova^{1*}, R.R. Beisenova¹, N.V. Karipbayeva², V.V. Polevik³

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

²Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

³Shakarim University, Semey, Kazakhstan

*Corresponding author: botagoz887@mail.ru

Taxonomic and ecological analysis of vascular plants of the pine forest of the Irtysh Region

The article presents a taxonomic, biomorphological, geographical analysis of the biodiversity of the flora of herbaceous species of pine forests of the Irtysh region, which is represented by 168 plant species belonging to 116 genera and 42 families. Analysis of the largest flora families of herbaceous species shows that the dominant communities are *Artemisia* L. — *Festucaria* Heist. ex Fabr. and *Artemisia* L. — *Poaceae* Barnhart (*Artemisia* L., *Festuca* Heist. ex Fabr., *Stipa capillata* L.) phytocenoses. In all the studied sites, the following plant species are dominant or codominant: *Festuca rupicola* Heuff., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Stipa capillata* L., *Artemisia vulgaris* L., *Carex supina* Willd. ex Wahlenb., *Spiraea hypericifolia* L. The flora is based on angiosperms, including dicotyledons — 137 species (81 %); monocotyledons — 28 species (16.6 %). Gymnosperms are represented by two species of *Pinus sylvestris* L., *Juniperus sabina* L., and there is also one species of *Egisetum arvense* L. horsetail. The richness of the flora is also emphasized by some quantitative indicators of its taxonomic composition: the average species saturation of one family is 4, the maximum is 36. There are 9 rich families with the number of species above the average (21.4 % of the total number of families), and 22 the poorest, single — species families (52.3 %). The top ten leading families contain 71 % of the total floral diversity. The high level of floristic diversity of the studied territory is due to the variety of ecological conditions of plant habitats (the valley of the Irtysh River with a high variation in moisture and salinity, a variety of rocks of the adjacent riverside uplands) and anthropogenic activities leading to an increase in weed and adventitious plant species.

Keywords: pine, ecology of vascular plants, forest, flora, taxonomy, ecosystem.

Introduction

Distribution of coniferous forests in Kazakhstan is limited. There are four groups of pine forests within the Republic of Kazakhstan: pine forests of Kazakh uplands; Kalba upland pine forests; ribbon pine forests on alluvial sands in the Turgai trough; ribbon pine forests on alluvial sands of the Irtysh region.

We studied the species composition and ecology of vascular plants in the pine forest of the Irtysh region. Pine Forest is located in the region of the Irtysh depression, it is the south-eastern edge of the West Siberian lowland, extends a wide part on both sides of the Irtysh from the western borders of the region almost to the Char and Shulbinka river mouths. In the south, it is bounded by the uplands, in the east — by the foothills of the Altai, in the north — by the Priobsky plateau, and in the west it goes beyond the region [1].

At its base, the basin is composed of Paleozoic rocks, above which underlie tertiary deposits, covered with a thick bed of layered ancient alluvial mainly light geologic material — sand, sandy loam. The relict pine forest of the Irtysh region is the most productive ecosystem in our natural conditions. This priceless gift of nature was created by the last Zyryanov glaciation in the Holocene period [1–3].

The Irtysh pine forest is classified into four types according to the types of relief: dry forests of high hills, dry forests of gentle hills, dry forests of medium hills, plain forests [3].

We studied the species composition of vascular plants in the above-mentioned four types of pine forest. During 2018–2020, we conducted floral surveys in various ecotopes of the pine forest within the Irtysh region. In the area of the study, we laid a network of routes that intersect the main landforms.

Experimental

The collections of the herbarium fund of Department of “Biology” of the Shakarim University of Semey and the plants of various ecotopes of the pine forest within the Irtysh region identified during the floral survey of 2018–2020 served as the material for research.

Various methods of studying vascular plants were used and several test sites with a size of 10000 m² (100×100 m) were laid to study the aspect, species composition and their biological and ecological features,

in each area under study, for a more detailed identification of the floristic composition when describing large areas in them, several small areas 1×1 m in size were laid, the areas may have the shape of a square or a circle. The geographical coordinates of the studied areas were determined by the GPS device. Expedition research was carried out on 7 sites in the vicinity of villages: the Staraja Krepost (2 sites), Kashtak, Polovinki, Talitsa, Mikhailovka, Borodulikha (Fig. 1).

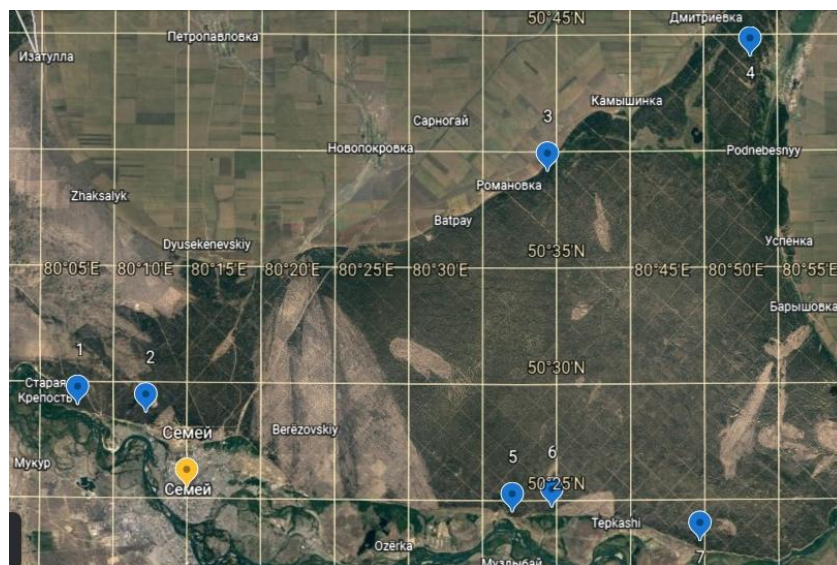


Figure 1. Cartographic diagram of the location of the studied sites

When studying vascular plants of the pine forest of the Irtysh region, we used various classical methods developed by prominent foreign and local scientists:

The methods of studying the aspect are the appearance of the plant community; it highlights the distinctive features and consists of the most noticeable traits of the composition and structure of plant associations [4].

Methods of studying the ecological features of the site are described with an indication of the terrain, soil type, salinity, moisture content, and other distinctive features that characterize a particular site. Among the main life forms, their ecological types are distinguished in relation to light, water and soil conditions [5, 6].

The main methods by which the floral and species composition of plants was studied were generally accepted classical methods of botanical and floristic research: in the field areas, the traditional route-reconnaissance method was used. Specimens of woody, shrubby and herbaceous plants were collected in herbarium folders with descriptions of collection sites (recorded using GPS), dates and collector. Collection and processing of herbarium material were carried out according to the generally accepted methodology of A.K. Skvortsov [7]. In the process of defining the herbarium, multi-volume summaries were used as sources “Flora of Kazakhstan I, II” [8]. To clarify the species and generic names, the latest reports of S.K. Cherepanov [9], M.S. Baitenov [10], S.A. Abdulina [11], A.L. Takhtajyan [12] were used.

Special attention is paid to the presence of rare, endangered, and endemic plant species in the model plots. The phytoprotective status was assessed in accordance with the IUCN categories [13, 14]; the inclusion of species in the Red Book of Kazakhstan was taken into account [15, 16].

The study of the floristic and species composition of plants was guided by the data of early studies on the region by N.Sh. Karipbaeva, V.V. Polevik [17–19].

Methods of studying the life form of plant species, that is, plant species that are similar in shape and method of adaptation to the environment, are determined by adult flowering specimens. Moreover the structure of vegetative and generative shoots, the duration of their life; the ratio of the perennial and annual parts of the shoots; the location of the plant renewal buds; the time and duration of flowering; the nature of the root system is considered. According to the classification of I.G. Serebryakov [20], there are various types of life forms, namely trees, shrubs, semi-shrubs, semi-prostrate shrubs, perennial and annual herbaceous plants.

The projective cover of the soil by plants was determined by eye measurement. It is expressed as a percentage from the area surface. 100 % of the total coverage means that the surface of the soil is completely

covered with plant projections, and 70 % means that 30 % remains uncovered (visible when viewed from above) [21].

Results and Discussion

Ribbon forests of the Irtysh region were historically formed on the territory of Kazakhstan in harsh soil and climatic conditions among treeless steppe spaces. They perform important climate-regulating, soil-protecting, and water-protecting functions.

Within the “Semey Ormany” National forest nature reserve, the ribbon forests are located on an area of 595,929 ha [21].

Pine forests of the Irtysh region are herbaceous forests, mostly xerophyticised. The areas of the pine forest studied by us are represented by several associations: wormwood — forb pine forest, forb — reed pine forest, wormwood — feather grass pine forest, etc. The grass cover of each association is composed depending on the ecological conditions of growth.

Biomorphs are represented by the following groups: trees, shrubs, semi-shrubs, prostrate shrubs, semi-prostrate shrubs, perennial and annual herbaceous plants. A group of herbaceous plants prevails. The grass cover of pine forests is fragmentary, thinned, xeromorphic, the total projective cover is 20–30 %, inside the spots 50–60 %. The dominants *Poaceae* Barnhart (*Leymus* Hochst., *Stipa* L., *Chrysopappus* Takht., *Scorzonera* L., *Spiraea* L. etc.), *Amaranthaceae* Juss (*Ceratocarpus arenarius* L., *Bassia prostrata* (L.) A.J. Scott) and *Brassicaceae* Burnett (*Alyssum alyssoides* L., *Barbarea vulgaris* R. Br., *Erysimum cheiranthoides* L.) grow in groups of several square meters; within them, representatives of other species are scattered, and sometimes isolated. The horizontal composition of the layer is uneven, related to a change in the microrelief, the projective density is from 10 to 30 %.

Ribbon forests of the Irtysh region consist of *Pinus sylvestris* L., which forms mainly clear-boled forests with numerous glades overgrown with dry–steppe, steppe, meadow–steppe vegetation.

The high level of floristic diversity of the studied territory is due to the variety of ecological conditions of plant habitats (the valley of the Irtysh River with a high variation in moisture and salinity, a variety of rocks of the adjacent riverside uplands) and anthropogenic activities leading to an increase in weed and adventitious plant species.

The main forest-forming species are Scots pine *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth and *Populus tremula* L. The grass layer is dominated by sod grasses — *Stipa pennata* L., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Artemisia marschalliana* Spreng.

In the course of our research on the territory of the Irtysh region, we conducted a taxonomic ecological analysis, discovered and identified 168 plant species belonging to 115 genera and 42 families (Table 1). The flora is based on angiosperms, including dicotyledons — 137 species (81 %); monocotyledons — 28 species (16.6 %). Gymnosperms are represented by two species of *Pinus sylvestris* L., *Juniperus Sabina* L. and there is also one species of *Equisetum arvense* L. horsetail.

According to the data of early studies of the territory, the flora of higher plants of the pine forest of the Irtysh region is represented by 344 species from 201 genera and 61 families. The flora is based on angiosperms — 340 species, including dicotyledons — 80.59 % (274 species), monocotyledons — 19.41 % (66 species). The presence of rare species was noted: *Pulsatilla patens* (L.) Mill. (category 3R), *Stipa pennata* L. (category 3R).

The richness of the flora is also emphasized by some quantitative indicators of its taxonomic composition: the average species saturation of one family is 4, the maximum is 36. There are 9 rich families with the number of species above the average (21.4 % of the total number of families), and 22 the poorest, single-species families (52.3 %). The top ten leading families contain 71 % of the total floral diversity (Table 1).

The species saturation of genera on average is 2.76, and the maximum is 23. The proportion of genera with the number of species above the average (3–23) is 8.6; single — species genera are the vast majority — 68, or 58.6 %.

The higher plants of the surveyed territory are represented by various life forms. According to the classification of I.G. Serebryakov (1962), 6 groups are distinguished, they are united into three major types: woody (trees, shrubs, prostrate shrubs); semi-woody (semi-shrubs, semi-prostrate shrubs); grasses (perennial, annual and biennial). A special feature of this territory is *Pinus sylvestris* L., a low proportion of shrubs-only 7.14 (12 species) (Table 2). Among them the most noticeable are *Spiraea hypericifolia* L., *Rubus idaeus* L., *Rosa canina* L., *Rosa majalis* Herrm., *Rosa acicularis* Lindl. and *Caragana arborescens* Lam.

Table 1

Dominant families of the Irtysh pine forest

Family	Number of genera	Number of species	Percentage of the total number of species, %
<i>Poaceae</i> Barnhart	9	12	7.14
<i>Polygonaceae</i> Juss	3	5	2.97
<i>Caryophyllaceae</i> Juss	6	8	4.76
<i>Ranunculaceae</i> Juss	4	4	2.38
<i>Brassicaceae</i> Burnett	6	10	5.95
<i>Rosaceae</i> Juss	9	17	1.11
<i>Fabaceae</i> Lindl	12	17	10.11
<i>Lamiaceae</i> Martinov	4	5	2.97
<i>Scrophulariaceae</i> Juss	4	6	3.57
<i>Asteraceae</i> Bercht. & J.Presl	23	36	21.4
Total:	80	120	71.43
Other families	39	53	31.5

Table 2

Spectrum of the main life forms of higher plants

Life form	Number of species	
	Absolute	Percentage of the total number of species, %
Shrubs	12	7.14
Semishrub	2	1.19
Semi-prostrate shrubs	4	2.38
Wood and sod	5	2.97
Perennial herbs	113	67.26
Annual and biennial herbs	32	19.04

Mass species, which are dominant and subdominant to plant communities, play a crucial role in the life of the ecosystem. They create a special background, often throughout the growing season, produce the main mass of organic matter, create a food base, places of refuge and breeding for wild animals, insects, etc. In the area of study, 67 background species from 23 families were recorded, i.e. 39.8 % of the total floral diversity of the territory. The maximum relative proportion (50 %) of background species is found in the *Asteraceae* Bercht. & J.Presl family, primarily *Chrysopappus* Takht., *Artemisia* L. and *Bojeria* DC.

A high level of representation of background species (50 % each) is also characteristic of four more families: *Scrophulariaceae* Juss, *Lamiaceae* Martinov, *Brassicaceae* Burnett, *Caryophyllaceae* Juss.

Also the most numerous are the following families: *Poaceae* Barnhart (7,14 %), *Rosaceae* Juss (10,11 %), *Fabaceae* Lindl (10,11 %).

In a single chain of problems, the preservation of the biodiversity of any region or a particular site, preservation of rare and unique plants is the most important. On the territory of the Relict Pine Forest of the Irtysh region, 29 species of various categories of rarity are noted, which is 17.2 % of the entire flora of the forest. Plants of The Red Book are leading in this group (2.38 %): *Pulsatilla patens* (L.) Mill. (category 3R), *Stipa pennata* L. (category 3R), *Allium caespitosum* Siev. ex Bong. & C.A. Mey. (category 2V), *Tulipa patens* C.Agardh ex Schult. & Schult.f (category 3R).

Pine forest plants that can tolerate overheating and dehydration 74 (44.04 %) species of xerophytes, 79 (47.02 %) species of mesophytes and 15(8.92 %) species of xeromesophytes were identified in the studied territory according to ecological groups in relation to water.

Conclusions

Plant communities are mainly represented by perennial drought — and frost — resistant herbaceous plants with a strong root system. The main edifiers are *Elymus* L., *Stipa* L., *Festuca* Tourn. Ex L., *Chrysopappus* Takht., *Artemisia* L., *Scorzonera* L., *Tragopogon* L., etc., the vegetation cover is mosaic.

In the vegetation cover of shrubs, there is one species of *Spiraea* L., it grows among the sandy hills of the pine forest, that is, in the depressions of the relief, with relatively close ground waters.

The richness of the flora is also emphasized by some quantitative indicators of its taxonomic composition: the average species saturation of one family is 4, the maximum is 36. There are 9 rich families with the number of species above the average (21.4 % of the total number of families), and 22 the poorest, single-species families (52.3 %). The rich families are: *Asteraceae* Bercht. & J.Presl— 36, *Poaceae* Barnhart — 12, *Fabaceae* Lindl — 17, and *Rosaceae* Juss — 17 species.

Mass or background species are dominant to plant communities and play a crucial role in the life of ecosystems. They create a special background, often throughout the growing season, produce the main mass of organic matter, create a food base, places of refuge and breeding for wild animals.

The dominant communities are *Artemisia* L. — *Festucaria* Heist. ex Fabr. and *Artemisia* L. — *Poaceae* Barnhart (*Artemisia* L., *Festuca* Heist. ex Fabr., *Stipa capillata* L.) phytocenoses. In all the studied areas, the following plant species are dominant or codominant: *Festuca rupicola* Heuff., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Stipa capillata* L., *Artemisia vulgaris* L., *Carex supina* Willd. ex Wahlenb., *Spiraea hypericifolia* L.

The plants of the pine forest of the Irtysh region are represented by various life forms. According to the classification of I.G. Serebryakov (1962), we have identified 6 groups: trees — 5 (2.97 %); shrubs — 12 (7.14 %); semi-shrubs — 6 (3.57 %); perennial — 113 (67.26 %); biennial and annual grasses — 32 (19.04 %) species.

In relation to moisture, pine forest plants are divided into xerophytes — 74 (44,04 %), 79 (47,02 %) mesophyte species and 15 (8.92 %) xeromesophyte species, among the xerophytes a special place is occupied by ephemera — ephemerooids, the flowering time of which begins in late April and until mid — May (*Adonis* L., *Pulsatilla* Mill, *Tulipa* L., *Gagea* Salisb etc.).

In recent years, the development and anthropogenic impacts on the territory of the pine forest of the Irtysh region lead to a reduction or deterioration of biodiversity, causes irreversible processes of degradation of the population of *Pinus sylvestris*, and, in natural geocomplexes, plant cenoses with historically established communities are the most vulnerable.

The results of the research show that at present there is a need to create nature reserves within the pine forest of the Irtysh region, especially in places where rare, endangered, valuable plants grow, with the subsequent regulation of all domestic activities. In this regard, it is necessary to develop effective measures and recommendations for the protection and reproduction of populations.

References

- 1 Уйсумбаев Б.С. География Восточно-Казахстанской области / Б.С. Уйсумбаева. — Семипалатинск, 2000. — 157 с.
- 2 Прокопьев Е.П. Ландшафтно-экологическое расчленение поймы р. Иртыш / Е.П. Прокопьев // Новые данные о природе Сибири. — Томск: Изд-во ТГУ, 1980. — С. 80–87.
- 3 Kin N.O. Ecological-coenotic structure of the pine forest flora at the southern margin of the geographical range of *Pinus sylvestris* L. / N.O. Kin, S.A. Senator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — Togliatti, 2020. — P. 012006.
- 4 Freitag M. Floristic composition and environmental determinants of pine forests in the hemiboreal zone of Western Siberia / M. Freitag, W. Mathar, A. Yurtaev, N. Hölzel // TUEXENIA. — 2015. — Vol. 35. — P. 31–51. <https://doi.org/10.14471/2015.35.017>
- 5 Григорьева Н.М. География растений: учеб. пос. / Н.М. Григорьев. — М., 2014. — 460 с.
- 6 Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plantarium.ru>
- 7 Скворцов А.К. Гербарий / А.К. Скворцов. — М., 1977. — 199 с.
- 8 Флора Казахстана. — Т. 1–9. — Алма-Ата: Наука, 1956–1966.
- 9 Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР / С.К. Черепанов. — Л.: Наука, 1981. — 509 с.
- 10 Байтенов М.С. Флора Казахстана. — Т. 1, 2. — Алматы: Ғылым, 1999–2001.
- 11 Абдулина С.А. Сосудистые растения Казахстана / С.А. Абдулина. — Алматы, 1998. — 188 с.
- 12 Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов / А.Л. Тахтаджян. — М.–Л., 1987. — 439 с.
- 13 World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. — Retrieved from <http://wcp.science.kew.org/>.
- 14 Котухов Ю.А. Современное состояние популяций редких и исчезающих растений Восточного Казахстана. — Кн. 2 / Ю.А. Котухов. — Алматы, 2009. — 145 с.
- 15 Красная книга Казахстана. — Т. 2: Растения. — Астана: АртPrint XXI, 2014. — 452 с.

16 Борисов М.А. Редкие виды растений: практика исследований в природе / М.А. Борисов, О.А. Маракаев. — Ярославль, 2015. — 64 с.

17 Нигматуллина А.К. Редкие и исчезающие сосудистые растения определенных территорий ГЛПР «Семей орманы» / А.К. Нигматуллина, В.В. Полевик, Ш.С. Жилкибаева // Вестн. Гос. ун-та им. Шакарима. — 2018. — № 4 (84). — С. 179–184.

18 Иващенко О.В. Видовой состав, распространение и значение водных и прибрежных сосудистых растений водоёмов Семейского Прииртышья / О.В. Иващенко, Н.Ш. Карипбаева, В.В. Полевик // Вестн. Гос. ун-та им. Шакарима. — 2017. — № 2 (78). — С. 176–181.

19 Карипбаева Н.Ш. Иллюстрированный определитель цветковых растений, печатный / Н.Ш. Карипбаева, Б.М. Силыбаева, В.В. Полевик. — Алматы: Эверо, 2019. — 248 с.

20 Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных / И.Г. Серебряков. — М., 1962. — 378 с.

21 Государственный лесной природный резерват «Семей орманы». — Алматы: FaitLux, 2012. — 115 с.

Б.З. Елькенова, Р.Р. Бейсенова, Н.Ш. Карипбаева, В.В. Полевик

Ертіс өңірінің қарағайлы орманының түтікті өсімдіктеріне таксономиялық және экологиялық талдау

Мақалада Ертіс өңірінің қарағайлы ормандарының өсімдік түрлерінің биоалуантүрлілігіне таксономиялық, биоморфологиялық, географиялық талдау келтірілген, онда 42 тұқымдас, 116 туысқа жататын өсімдіктердің 168 түрі ұсынылған. Шөптесін өсімдіктер флорасын талдаудың нәтижесінде ең басым қауымдастықтар *Artemisia* — *Festuca* және *Artemisia* — *Poaceae* (*Artemisia*, *Festuca*, *Stipa capillata*) фитоценоздары екенін көрсетті. Барлық зерттелген аудандарда өсімдіктердің келесі түрлері доминаттар немесе кодоминаттар болып табылады: *Festuca rupicola*, *Agropyron pectinatum*, *Stipa capillata*, *Artemisia vulgaris*, *Carex supina*, *Spiraea hypericifolia*. Флораның негізін ангиоспермдер құрайды, оның ішінде: қосжарнақтылар — 137 түр (81%); даражарнақтылар — 28 түр (16,6%). Жалаңаш тұқымдылар *Pinus sylvestris*, *Juniperus sabina* екі түрімен ұсынылған, сонымен қатар *Equisetum arvens* бір түрі бар. Флораның байлығы оның таксономиялық құрамының кейбір сандық көрсеткіштерімен ерекшеленеді: біртұқымдастың орташа қанықтылығы — 4, максимум — 36. Түрлердің саны орташадан жоғары тұқымдастар — 9 (тұқымдастардың жалпы санының 21,4%), түрлері ең аз тұқымдастардың саны (дара түр) — 22 (52,3%). Жетекші отбасылардың алғашқы ондығында барлық флористикалық әртүрліліктің 71%-ы кездеседі. Зерттелетін аумақтың флористикалық алуан түрлілігінің жоғары деңгейі өсімдіктер мекендейтін жерлердің экологиялық жағдайларының алуан түрлілігімен (аумақты суландыру мен тұздандудың жоғары вариациясы бар Ертіс өзенінің алқабы, өзен маңындағы ұсақ шоқыларға іргелес түрлі тау жыныстары) және қар құрсауының және арамшөптердің көбеюіне әкелетін антропогендік ықпалға байланысты.

Кілт сөздер: қарағай, тамырлы өсімдіктер экологиясы, орман, флора, таксономия, экожүйе.

Б.З. Елькенова, Р.Р. Бейсенова, Н.Ш. Карипбаева, В.В. Полевик

Таксономический и экологический анализ сосудистых растений соснового бора Прииртышья

В статье приведен таксономический, биоморфологический, географический анализ биоразнообразия флоры травянистых видов боров Прииртышья, которая представлена 168 видами растений, относящихся к 116 родам и 42 семействам. Анализ крупнейших семейств флоры травянистых видов показал, что доминирующими сообществами являются *Artemisia–Festuca* и *Artemisia–Poaceae* (*Artemisia*, *Festuca*, *Stipa capillata*) фитоценозы. На всех исследованных участках следующие виды растений являются доминантами или кодоминантами *Festuca rupicola*, *Agropyron pectinatum*, *Stipa capillata*, *Artemisia vulgaris*, *Carex supina*, *Spiraea hypericifolia*. Основу флоры составляют покрытосеменные растения, в том числе двудольные — 137 видов (81%); однодольные — 28 вида (16,6%). Голосеменные представлены двумя видами *P. sylvestris*, *Juniperus Sabina*, а также здесь встречается один вид хвощей *Equisetum arvense*. Богатство флоры подчеркивается и некоторыми количественными показателями ее таксономического состава: средняя видовая насыщенность одного семейства — 4, максимальная — 36. Богатых семейств с числом видов выше среднего — 9 (21,4% от общего количества семейств), беднейших, одновидовых — 22 (52,3%). Первая десятка ведущих семейств содержит 71% от всего флористического разнообразия. Высокий уровень флористического разнообразия изучаемой территории обусловлен многообразием экологических условий местообитаний растений (долина р. Иртыш с высокой вариацией увлажнения и засоления территории, разнообразные горные породы

прилегающего приречного мелкосопочника) и антропогенной деятельностью, приводящей к увеличению заносных и сорных видов.

Ключевые слова: сосна, экология сосудистых растений, лес, флора, таксономия, экосистема, экологические условия местообитания растений.

References

- 1 Usumbaev, B.S. (2000). *Geografiia Vostochno-Kazakhstanskoi oblasti [Geography of the East Kazakhstan region]*. Semipalatinsk [in Russian].
- 2 Prokopev, E.P. (1980). Landshafno-ekologicheskoe rashchlenenie poimy r. Irtysh [Landscape and ecological dismemberment of the Irtysh River floodplain]. *Novye dannye o prirode Sibiri — New data on the nature of Siberia*. Tomsk: Tomsk State University, 80–87 [in Russian].
- 3 Kin, N.O., & Senator, S.A. (2020). Ecological-coenotic structure of the pine forest flora at the southern margin of the geographical range of *Pinus sylvestris* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Togliatti, 012006.
- 4 Freitag, M., Mathar, W., Yurtaev, A., & Hölzel, N. (2015). Floristic composition and environmental determinants of pine forests in the hemiboreal zone of Western Siberia. *TUEXENIA*, 35; 31–51. <https://doi.org/10.14471/2015.35.017>
- 5 Grigoreva, N.M. (2014). *Geografiia rastenii [Plant geography]*. Moscow [in Russian].
- 6 Rasteniia i lishainiki Rossii i sopredelnykh stran: otkryti online atlas i opredelitel rastenii [Plants and lichens of Russia and neighboring countries: an open online atlas and plant determinant]. Retrieved from <https://www.plantarium.ru> [in Russian].
- 7 Skvortsov, A.K. (1977). *Gerbarii [Herbarium]*. Moscow [in Russian].
- 8 (1956–1966). *Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]*. Alma-Ata, 1–9 [in Russian].
- 9 Czerepanov, S.K. (1981). *Sosudistye rasteniia SSSR [Vascular plants of the USSR]*. Saint Petersburg [in Russian].
- 10 Baitenov, M.S. (1999–2001). *Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]*. Almaty: Gylm, 1, 2 [in Russian].
- 11 Abdullina, S.A. (1999). *Spisok sosudistykh rastenii Kazakhstana [List of vascular plants of Kazakhstan]*. Almaty [in Russian].
- 12 Takhtadzhyan, A.L. (1987). *Sistema magnoliifitov [Magnoliophyte system]*. Moscow–Leningrad [in Russian].
- 13 World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://wcsp.science.kew.org/>.
- 14 Kotukhov, Yu.A., Danilova, A.N., & Anufrieva, O.A. (2009). *Sovremennoe sostoianie populiatsii redkikh i ischezaiushchikh rastenii Vostochnogo Kazakhstana [The current state of populations of rare and endangered plants in East Kazakhstan]*. Almaty, 2 [in Russian].
- 15 (2014). *Krasnaia kniga Kazakhstana. Tom 2: Rasteniia [The Red Book of Kazakhstan. Vol. 2: Plants]*. Astana: ArtPrint XXI [in Russian].
- 16 Borisov, M.A., & Marakaev, O.A. (2015). *Redkie vidy rastenii: praktika issledovaniia v prirode [Rare plant species: the practice of research in nature]*. Yaroslavl [in Russian].
- 17 Nigmatullina, A.K., Polevik, V.V., & Zhilkibaeva, Sh.S. (2018). Redkie i ischezaiushchie sosudistye rasteniia opredelennykh territorii GLPR «Semei ormany» [Rare and endangered vascular plants of certain territories of the GLPR “Semey Ormani”]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima — Bulletin of Shakarim State University*, 4 (84); 179–184 [in Russian].
- 18 Ivashchenko, O.V., Karipbaeva, N.Sh., & Polevik V.V. (2017). Vidovoi sostav, rasprostranenie i zhanenie vodnykh i pribrezhnykh sosudistykh rastenii vodoemov Semeiskogo Priirtyshia [Species composition, distribution and significance of aquatic and coastal vascular plants of the reservoirs of the Semey Irtysh]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima — Bulletin of Shakarim State University*, 2 (78); 176–181 [in Russian].
- 19 Karipbaeva, N.Sh., Silybaeva, B.M., & Polevik, V.V. (2019). *Illustrirovannyi opredelitel tsvetkovykh rastenii [Illustrated guide to flowering plants]*. Almaty: Evero [in Russian].
- 20 Serebriakov, I.G. (1962). *Ekologicheskaiia morfologiia rastenii. Zhiznennye formy pokrytosemennyykh i khvoinykh [Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers]*. Moscow [in Russian].
- 21 (2012). *Gosudarstvennyi lesnoi prirodnyi rezervat «Semei ormany» [“Semey ormany” State Forest Nature Reserve]*. Almaty: FaitLux [in Russian].

N.K. Zhappar*, V.M. Shaikhutdinov, L.K. Asherbekova, A.E. Khassenova, A.K. Shibaeva

Scientific-Analytical Center "Biomedpreparat", Stepnogorsk, Kazakhstan

*Corresponding author: nariman_zhappar@mail.ru

Selection of the most productive nutrient media for the cultivation of predatory nematodes

Modes of mass production of entomopathogenic nematodes isolated from various habitats of Akmola and Pavlodar regions were tested. As a result of the selection of nutrient media and cultivation conditions of entomopathogenic nematodes, the largest populations of nematodes (more than 100,000 young individuals/ml) were obtained on medium C11 containing yeast extract (23 g/l), egg yolk (13.5 g/l), and corn extract (40 g/l). On the 20th day of cultivation, the maximum concentration of viable nematodes was reached (123 856, 127 572, and 122 469 nematodes/ml for isolates AF 29, AF 57, and KP 76, respectively), which was maintained until the end of the experiments. During the process, the initial concentration of nematodes increased by more than 2 orders of magnitude. When working out the modes of mass production of nematodes on a semi-industrial scale, the populations of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 in media amounted to 122 754, 131 784, and 126 521 nematodes per ml. The total volume of the resulting preparation was 50 liters. The obtained results are applicable in crop production in the fight against potato pests.

Keywords: entomopathogenic nematodes, nutrient media, *Steinernematids*, *Galleria mellonella*, biological control.

Introduction

Entomopathogenic nematodes (EPN) are insect parasitic roundworms. They have the ability to infect over a thousand different insect species. The worms' mutualistic association with the bacteria *Photorhabdus* and *Xenorhabdus* is one of their most distinguishing characteristics. Both the larval and adult stages of insects are affected by EPN. An infectious juvenile nematode is the nematode's only free-living stage. The nematode's life cycle begins with the entry into the insect's body cavity by natural openings such as the mouth, anus, spiracles, or thin regions of the cuticle. The nematode enters the insect by the hemocele, where it releases symbiotic bacteria that live in the worm's intestines. These bacteria grow rapidly, generating toxins and hydrolytic exoenzymes, resulting in the carrier's temporary death within two to three days. After that, for numerous generations, nematodes continue to develop in the corpse [1]. Even when single nematode individuals enter the insect body, hundreds of thousands of young individuals are already released into the environment after 10–20 days, allowing them to survive for lengthy periods of time without food while waiting for a new insect host [2]. The most studied representatives are nematodes of the families *Steinernematidae* and *Heterorhabditidae* because of their most promising properties for the use [3]. The difference between these two families is that the first generation of *Heterorhabditidae* is hermaphrodite, and the next generations can have both hermaphrodite and female and male forms. While in the *Steinernematidae*, all generations are have both sexes [4, 5].

At the moment, methods of *in vivo* and *in vitro* solid and liquid media are widely used in the reproduction of EPN in commercial conditions [6, 7].

The *in vivo* method consists in inoculation (infection) of insects with nematodes in Petri dishes or trays equipped with filter paper. After 2–5 days, infected insects are transferred to White traps to collect young nematodes. After the collection is completed, the concentration of nematodes is carried out and, if necessary, their decontamination. The advantage of the *in vivo* method is that it is the simplest in terms of the necessary qualifications and the necessary equipment, but at the same time, this method remains the least cost-effective of the three currently used [8].

When breeding nematodes by *in vitro* method on a solid medium, nematode eggs are placed on a pure culture of nematode symbiont bacteria. As a nutrient medium, the most effective is considered to be a medium consisting of yeast extract, nutrient broth, vegetable oil, and soy flour, or consisting of peptone, yeast extract, eggs, soy flour, and lard. The resulting medium is impregnated with a sponge and autoclaved. Then, bacteria settle first, and after 3 days, nematodes. After 2–5 weeks, the nematodes are collected by placing a

sponge on a sieve and repeatedly rinsing into a collection tank. At the moment, there are already modifications to this method, which allows automating some steps of the process and increasing the volume of production [7, 8].

The *in vitro* liquid method is the most cost-effective of the three, but at the same time, this method has the highest requirements for the qualification of employees, as well as significant capital investments. This method uses a nutrient medium comprising soy powder, yeast extract, rapeseed, corn oil, thistle oil, egg yolks, casein, peptone, liver extract, and cholesterol. Just like in the solid medium method, bacteria settle first, after which nematodes are added. Nematodes are fermented for 2–3 weeks with aeration, after which they can be removed from the medium by centrifugation [8].

The bacteria *Photorhabdus*, which live in the nematodes *Heterorhabditidae*, and *Xenorhabdus*, which live in the nematodes *Steinernatidae*, are gram-negative gamma-proteobacteria of the Enterobacter family. Their relationship with EPN is extremely specific and, as a rule, each type of nematode is strictly associated with a single type of bacteria. At the same time, the bacteria themselves can be associated with several different types of nematodes at once [9, 10].

This study aims to select the medium that can give the highest reproduction number of EPN. Several mediums were prepared and tested on some isolates of EPN for the study goal.

Experimental

Obtaining pure cultures of symbiotic bacteria of EPN isolates. Approximately 200 nematodes were applied to fifth-instar *Galleria mellonella* larvae and incubated at 25 °C for 10 hours. To isolate bacteria, *Galleria mellonella* hemolymphs were applied with strokes to NBTA medium (nutrient agar with the addition of 25 mg of bromothymol blue and 40 mg of triphenyltetrazolium chloride per 1 liter). Also, about 500 nematodes were superficially sterilized with 70 % of ethanol for 3 minutes and crushed in sterile distilled water. Then the extract was applied with strokes to the NBTA medium. Colonies of blue color, grown on cups with NBTA, were cultured once in triton soy broth (TSB) at 25 °C for 48 hours. After three times rinsing with sterilized water by centrifugation of the culture medium at 4000 x g for 2 minutes at 4 °C, the cells were re-suspended in a sterilized 100 mM phosphate-salt buffer (PBS, pH 7.4) for subsequent tests.

Selection of a medium for mass production on a laboratory scale. Cultivation of APN isolates AF 29, AF57, and KP78 was carried out in plastic trays containing 50 ml of medium, three repetitions of each medium variant. Table 1 represents the compositions of the media.

Table 1

Compositions of the studied media

Medium	Yeast Extract	MgSO ₄ ·7H ₂ O	MnCl ₂ ·4H ₂ O	KH ₂ PO ₄	Egg yolk	Corn Extract
C1	2,3	0	0	6	27	40
C2	2,3	0	0,5	6	0	40
C3	23	0	0,5	0	0	40
C4	2,3	0,5	0,5	0	0	0
C5	23	0	0	0	27	0
C6	11,5	0,25	0,25	3	13,5	20
C7	23	0,5	0	6	0	0
C8	11,5	0,25	0,25	3	27	20
C9	2,3	0,5	0,5	6	27	0
C10	11,5	0,25	0,25	3	13,5	20
C11	23	0,5	0,5	0	13,5	40
C12	2,3	0	0	0	0	0
C13	23	0,5	0	6	0	40
C14	23	0	0,5	6	27	0
C15	2,3	0,5	0	0	27	40
C16	46	0,5	0,5	0	54	40
C17	46	0,5	0,5	0	27	20
C18	23	0,5	0,5	0	54	40

Symbiotic bacteria of isolates previously grown in a trypton-soy medium were inoculated into the medium by adding 1 ml ($5 \cdot 10^9$ cells) of culture to each tray. The trays were incubated in a thermostat at 25 °C for 2 days. After 2 days, bacterial suspensions were inoculated with nematodes by adding 5000 two-day-old young individuals of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 to each tray (final concentration = 100 young individuals/ml). Cultures of nematode bacteria were incubated for 4 weeks before counting nematode populations. To count nematodes, 1 ml of sample was taken from each tray and diluted 1:500 with water in a glass per 1000 ml. The nematode count was performed using a stereomicroscope with a 16-fold magnification. The calculations were repeated twice. The whole experiment was repeated once (thus, two complete tests).

Development of mass production modes on a semi-industrial scale. Symbiotic bacteria of isolates were cultured in a fermenter with a volume of 5 liters in a trypton-soy medium, g/l: casein peptone 17, potassium phosphoric acid 2-substituted 2.5, glucose 2.5, sodium chloride 5, soy peptone 3. To obtain the seed material, mown agar of microorganisms stored on an agarized trypton-soy nutrient medium was used. The production of bacterial seed material was carried out in Erlenmeyer flasks on a liquid trypton-soy medium with a volume of 0.5 liters. The flasks with media were seeded with a suspension of microorganisms in an amount of 10 % of the volume of the medium. The duration of the process of cultivation of microorganisms in flasks is 48 hours at a temperature of 25 °C. The preparation of nutrient media was carried out directly in the fermenter by mixing nutrient solutions and bringing the volume to the required amount with tap water. The pH was adjusted to 6.8–7.0. The medium was sterilized at $121 (\pm 1)$ °C for 30 minutes in an autoclave. The seed material obtained in flasks was sown in a fermenter with a volume of 5 liters and cultivated for 48 hours at a temperature of 25 °C. At the end of cultivation, microscopy was performed to control purity, as well as seeding of the material on an agarized trypton-soy nutrient medium to control purity, also to determine the titer by the Koch method.

Cultivation of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 was carried out in plastic trays containing 50 ml of medium C11 (Table 1). Sterilization of the medium in the trays was carried out at $121 (\pm 1)$ °C for 30 minutes in an autoclave. After cooling the trays to room temperature, symbiotic bacteria of isolates previously grown in a trypton-soy medium were inoculated into the medium by adding 1 ml ($5 \cdot 10^9$ cells) of culture to each tray. The trays were incubated at 25 °C for 2 days. After 2 days, bacterial suspensions were inoculated with superficially sterilized nematodes by adding 5000 two-day-old young individuals of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 to each tray (final concentration = 100 young individuals/ml).

Cultures of nematode bacteria were incubated at 25 °C for 4 weeks. During the incubation period, samples were taken from randomly selected trays every four days to control the development of nematodes. To count nematodes, 1 ml of sample was taken from each tray and diluted 1:500 with water in a glass per 1000 ml. After 4 weeks of cultivation, the trays with each isolate were moved to a plastic container and stored at 4 °C.

Results and Discussion

Both *Steinernematids* and *Heterorabditids* form a mutualistic symbiosis with gram-negative bacteria from the genera *Xenorhabdus* and *Photorhabdus*, respectively, which can occur in two forms, and only one of them — phase I — is important for the effective destruction of host insects. They also support nematode reproduction well compared to phase II bacteria. The bacteria are carried in the intestine at stages IJ, a specialized free-living form of nematodes. IJ look for insect larvae in the soil, invade them and release their symbiotic bacteria in the hemolymph, where they multiply and produce a wide range of toxins and hydrolytic exoenzymes that are responsible for the death and bioconversion of insect larvae into a nutrient substrate that is ideal for the growth and reproduction of nematodes. Nematodes multiply until the supply of nutrients become limited, after which they develop into IJ, which are re-colonized by symbiotic bacteria [11].

To isolate symbiotic bacteria from isolates AF 29, AF57, and KP76, superficially sterilized nematodes and hemolymph of *G. mellonella* infected with nematodes were used as bacterial sources. Both the nematode source and the host hemolymph produced colonies of blue and red bacteria on NBTA medium (Fig. 1 and 2). As a result of the adsorption of bromothymol blue by phase I colonies, lightened zones are formed around them, and the colonies themselves acquire a characteristic color.



Figure 1. Bacterial isolates grown on NBTA medium from *Galleria mellonella* hemolymph infected with nematode isolate AF 29

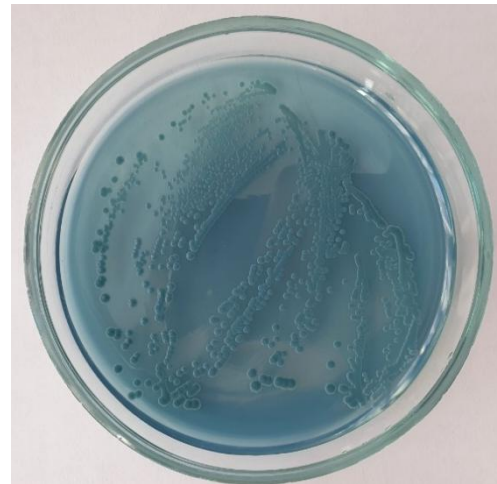


Figure 2. Pure AF 29/1 isolate culture grown on NBTA medium

Tests for catalase and oxidase were carried out to check the genera of bacteria. The results showed that these bacterial isolates belong to the genus *Xenorhabdus*. Table 2 illustrates the biochemical identification of bacteria.

Table 2

Biochemical identification of bacteria from isolates AF 29, AF 57, and KP 76

Parameter	Isolate AF 29/1	Isolate AF 57/1	Isolate KP 76/1	<i>Xenorhabdus</i>	<i>Photorhabdus</i>	<i>Serratia</i>
Gram	–	–	–	–	–	–
Catalase	–	–	–	–	–/+	–
Oxidase production	–	–	–	–	–	–/+
Insecticidal activity	+	+	+	+	+	–
NBTA Colony Color	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Pink-red

The technology of submerged monoxene cultivation *in vitro* is the best option for mass production of entomopathogenic nematodes according to various authors [12, 13], but, at the same time, the best quality of IJ is achieved through *in vivo* cultivation technology. Although some companies produce stages IJ using deep cultivation technology [14], the results obtained are too different, and efforts should be made to improve the available technologies. In particular, the research concerns the development of the environment — the optimization of the environment — necessary for more reliable bioprocess production of IJ. As for the composition of the medium, most sources used complex formulations rich in nutrients, which, among other ingredients, would contain dried egg yolk, lactalbumin, and various vegetable oils and extracts [15, 16].

To optimize the production of EPN, the influence of the composition of the nutrient medium on the populations of nematodes AF 29, AF 57, and KP 76 was studied. Lipids, yeast extract, egg yolk, soy flour, salts, and proteins were used in the study. 18 environments with different compositions were tested. The nutrient media also contained 0.2 % of agar.

As a result of the tests, the largest populations of nematodes (more than 100,000 young individuals/ml) were obtained on medium C11 containing yeast extract (23 g/l), egg yolk (13.5 g/l), and corn extract (40 g/l) (Tab. 3).

During the first 3 days of cultivation, inoculated nematodes did not show any changes. On the 4th day, the restoration of the IJ stages led to a change of IJ4 individuals. For 8 days, adults of the first generation were observed, as well as a large number of eggs and J2 individuals. The most intensive growth of the nematode population occurred between 8 and 12 days of cultivation. On the 20th day, the maximum concentration of viable nematodes (123856 nematodes/ml) was reached, which was maintained until the end of the experiments. Thus, the initial concentration of nematodes increased by more than 2 orders of magnitude during the process.

Selection of media for isolates AF 29, AF 57, and KP 76

Medium	Yeast Extract	MgSO ₄ ·7H ₂ O	MnCl ₂ ·4H ₂ O	KH ₂ PO ₄	Egg yolk	Corn Extract	Nematodes/ml		
							AF 29	AF 57	KP 76
C1	2,3	0	0	6	27	40	89 645	92 334	88 641
C2	2,3	0	0,5	6	0	40	64 354	66 285	63 633
C3	23	0	0,5	0	0	40	84 962	87 511	84 010
C4	2,3	0,5	0,5	0	0	0	57 843	59 578	57 195
C5	23	0	0	0	27	0	46 213	47 599	45 695
C6	11,5	0,25	0,25	3	13,5	20	96 485	99 380	95 404
C7	23	0,5	0	6	0	0	43 617	44 926	43 128
C8	11,5	0,25	0,25	3	27	20	92 764	95 547	91 725
C9	2,3	0,5	0,5	6	27	0	78 273	80 621	77 396
C10	11,5	0,25	0,25	3	13,5	20	86 417	89 010	85 449
C11	23	0,5	0,5	0	13,5	40	123 856	127 572	122 469
C12	2,3	0	0	0	0	0	23 714	24 425	23 448
C13	23	0,5	0	6	0	40	72 142	74 306	71 334
C14	23	0	0,5	6	27	0	49 874	51 370	49 315
C15	2,3	0,5	0	0	27	40	83 475	85 979	82 540
C16	46	0,5	0,5	0	54	40	114 125	117 549	112 847
C17	46	0,5	0,5	0	27	20	116 426	119 919	115 122
C18	23	0,5	0,5	0	54	40	126 412	130 204	124 996

The potential for the effective production of EPN using *in vitro* cultivation technology was recognized since 1930, when Rudolf Glazer developed the first method of artificial cultivation. Studies on the production of EPN in liquid cultures focused on increasing the population, the quality of nematodes and production costs by optimizing the environment and cultivation conditions [16].

Phase I symbiotic bacteria support nematode reproduction well. To work out the modes of mass cultivation of nematodes, fermentations of isolates AF 29/1, AF 57/1, and KP 76/1 were carried out on a 7L fermenter. During fermentation, the growth of symbiotic bacteria in a liquid medium was accompanied by turbidity of the medium, the formation of a grayish-white film and sediment. As a result, culture fluids of symbiotic bacteria with a titer of at least 5×10^9 CFU/ml were obtained, which were used for seeding trays with C11 medium for incubation of nematodes.

As a result of cultivation of nematodes in patches for 28 days, the populations of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 in media amounted to 122 754, 131 784, and 126 521 nematodes per ml. After 4 weeks of cultivation, the trays with each isolate were moved to a plastic container and stored at 4 °C. The total volume of the resulting bioproduct was 50 liters.

Conclusions

During the implementation of the project and the reporting period of the obtained experimental data, the following results were obtained with the corresponding conclusions:

As a result of the selection of nutrient media and cultivation conditions of entomopathogenic nematodes, the largest populations of nematodes (more than 100,000 young individuals/ml) were obtained on medium C11 containing yeast extract (23 g/l), egg yolk (13.5 g/l), and corn extract (40 g/l). On the 20th day of cultivation, the maximum concentration of viable nematodes was reached (123 856, 127 572, and 122 469 nematodes/ml for isolates AF 29, AF 57, and KP 76, respectively), which was maintained until the end of the experiments. During the process, the initial concentration of nematodes increased by more than 2 orders of magnitude.

When testing the modes of mass production of nematodes on a semi-industrial scale during 28 days of cultivation, the populations of isolates AF 29, AF 57, and KP 76 in media amounted to 122,754, 131,784, and 126,521 nematodes per ml. After 4 weeks of cultivation, the trays with each isolate were moved to a plastic container and stored at 4 °C. The total volume of the resulting drug was 50 liters.

Acknowledgements

This research was funded by The Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP08053330).

References

- 1 Askary, T.H. (2010). *Nematodes as biocontrol agents*. The Netherlands: Springer, 347–378.
- 2 Poinar, G.O. (1979). *Nematodes for biological control of insects*. CRC Press Inc.
- 3 Lawrence, A.L. (2012). Entomopathogenic Nematodes for Control of Insect Pests Above and Below Ground with Comments on Commercial Production. *J Nematol.*, 44 (2); 218–225.
- 4 Koltai, H., Glazer, I., & Segal, D. (1995). Reproduction of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976: hermaphroditism vs. amphimixis. *Fundam Appl Nematol.*, 18; 55–61.
- 5 Strauch, O., Stoessel, S., & Ehlers, R.-U. (1994). Culture conditions define automictic or amphimictic reproduction in entomopathogenic rhabditid nematodes of the genus *Heterorhabditis*. *Fundam Appl Nematol.*, 17; 575–582.
- 6 Friedman, M.J. (1990). Commercial production and development. *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Boca Raton, FL; 153–172.
- 7 Gaugler, R., & Han, R. (2002). Production technology. *Entomopathogenic Nematology*. CABI.
- 8 Shapiro-Ilan, D.I., & Gaugler, R. (2002). Production technology for entomopathogenic nematodes and their bacterial symbionts. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 28; 137–146.
- 9 Akhurst, R.J., & Boemare, N.E. (1990). Biology and taxonomy of *Xenorhabdus*. *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Boca Raton, FL, 75–87.
- 10 Bonifassi, E., Fischer-Le Saux, M., Boemare, N., Lanois, A., Laumond, C., & Smart, G. (1999). Gnotobiological study of infective juveniles and symbionts of *Steinernema scapterisci*: a model to clarify the concept of the natural occurrence of monoxenic associations in entomopathogenic nematodes. *J Invertebr Pathol.*, 74; 164–172.
- 11 Shapiro-Ilan, D. (2019). Conspicuous pheromones enhance entomopathogenic infectivity. *J. Nematol.*, 51; 1–5.
- 12 Touray, M. (2020). Evaluation of different sponge types on the survival and infectivity of stored entomopathogenic nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 171; 1–15.
- 13 Santhi, V.S., Salame, L., Muklada, H., Azaizeh, H., Haj-Zaroubi, M., Awwad, S., Landau, S.Y., & Glazer, I. (2020). Toxicity of phenolic compounds to entomopathogenic nematodes: A case study with *Heterorhabditis bacteriophora* exposed to lentisk (*Pistacia lentiscus*) extracts and their chemical components. *J. Invertebr. Pathol.*, 171; 1–15.
- 14 Lacey, L.A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D.I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M.S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *J. Invertebr. Pathol.*, 132; 1–41.
- 15 Labaude, S., & Griffin, C.T. (2018). Transmission success of entomopathogenic nematodes used in pest control. *Insects*, 9; 72.
- 16 Leite, L.G., Shapiro-Ilan, D.I., & Hazir, S. (2018). Survival of *Steinernema feltiae* in different formulation substrates: Improved longevity in a mixture of gel and vermiculite. *Biol. Cont.*, 126; 192–197.

Н.К. Жаппар, В.М. Шайхутдинов, Л.К. Ашербекова, Б.М. Мырзабаев, А.К. Шибаяева,

Жыртқыш нематодтарды өсіру үшін ең тиімді қоректік ортаны таңдау

Ақмола және Павлодар облыстарының әртүрлі мекендеу ортасынан бөлінген энтомопатогендік нематодтарды жаппай өндіру тәртібі әзірленді. Энтомопатогендік нематодтардың қоректік ортасы мен өсіру жағдайларын таңдау нәтижесінде құрамында ашытқы сығындысы (23 г/л), жұмыртқаның сарысы (13,5 г/л) және жүгері сығындысы (40 г/л) бар с11 ортасында нематодтардың ең көп популяциясы (100 000-нан астам жас/мл) алынды. Өсірудің 20-шы күні өміршең нематодтар ең жоғарғы концентрациясына жетті (123856, 127572 және 122469 нематодтар/мл AF 29, AF 57 және KP 76 изоляттары үшін сәйкесінше), бұл тәжірибелердің соңына дейін сақталды. Процесс барысында нематодтардың бастапқы концентрациясы 2 реттен астамға өсті. Жартылай өнеркәсіптік масштабта нематодтарды жаппай өндіру режимдерін әзірлеу кезінде AF 29, AF57 және KP 76 изоляттарының популяциясы ортада 122 754, 131 784 және 126 521 нематодтарды құрады. Алынған препараттың жалпы көлемі 50 литр болды. Алынған нәтижелер өсімдік шаруашылығында картоп зиянкестерімен күресуде қолданылады.

Кілт сөздер: энтомопатогендік нематодтар, қоректік орта, *Steinernematids*, *Galleria mellonella*, биологиялық бақылау.

Н.К. Жаппар, В.М. Шайхутдинов, Л.К. Ашербекова, А.Е. Хасенова, А.К. Шибаета

Подбор наиболее продуктивных питательных сред для выращивания хищных нематод

Отработаны режимы массового производства энтомопатогенных нематод, выделенных из различных сред обитания Акмолинской и Павлодарской областей. В результате подбора питательных сред и условий культивирования энтомопатогенных нематод наибольшие популяции нематод (более 100 000 молодых особей/мл) были получены на среде С11, содержащей дрожжевой экстракт (23 г/л), яичный желток (13,5 г/л) и кукурузный экстракт (40 г/л). На 20-й день культивирования была достигнута максимальная концентрация жизнеспособных нематод (123 856, 127 572 и 122 469 нематод/мл для изолятов АF 29, АF 57 и КР 76 соответственно), которая поддерживалась до конца экспериментов. В ходе процесса исходная концентрация нематод увеличивалась более чем на 2 порядка. При отработке режимов массового производства нематод в полупромышленных масштабах популяции изолятов АF 29, АF 57 и КР 76 в средах составили 122 754, 131 784 и 126 521 нематод на мл. Общий объем полученного препарата составил 50 л. Полученные результаты применимы в растениеводстве при борьбе с вредителями картофеля.

Ключевые слова: энтомопатогенные нематоды, питательные среды, *Steinernematids*, *Galleria mellonella*, биологический контроль.

А. Бериккызы^{1*}, Н.Т. Аблайханова¹, Г.А. Тусупбекова¹, Л.С. Кожамжарова²

¹Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

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

*Автор для корреспонденции: aruzhanberikkyzy20@mail.ru

Влияние коронавируса на иммунную систему организма Литературный обзор

В статье рассмотрены научные данные о функциональном состоянии живого организма при коронавирусной болезни (COVID-19). Цитокины — низкомолекулярные белки, секретируемые иммунными клетками организма, при нормальном количестве обладают защитным для организма действием, связанным с отграничением повреждённой ткани при воспалении. В настоящее время известно более 30 видов, которые по структурным особенностям и биологическому действию делятся на несколько самостоятельных групп. Повышенное высвобождение цитокинов в ответ на вирусную инфекцию, известное как синдром высвобождения цитокинов или цитокиновый шторм, становится механизмом, приводящим к острым респираторным дистресс-синдромом (ОРДС) и полиорганной недостаточностью (ПОН) при COVID-19, тем самым подтверждая гипотезу о том, что правильно подобранные противовоспалительные терапевтические стратегии могут улучшить клинические результаты и прогресс пациентов. Так как единых диагностических критериев «цитокинового шторма» на сегодняшний день не существует, в лабораторной диагностике в первую очередь, обращают внимание на повышение интерлейкина-1 β (ИЛ-1 β), интерлейкина-6 (ИЛ-6), С-реактивного белка (СРБ) и ферритина, прокальцитонина.

Ключевые слова: коронавирусная болезнь (COVID-19), SARS-CoV-2, цитокиновый шторм, интерлейкин-1 β (ИЛ-1 β), интерлейкин-6 (ИЛ-6), С-реактивный белок (СРБ), ферритинин, прокальцитонин.

Введение

Коронавирусная инфекция — острое вирусное заболевание с преимущественным поражением верхних дыхательных путей, вызываемое РНК-содержащим вирусом рода *Betacoronavirus* семейства *Coronaviridae* [1].

Коронавирусы представляют собой одноцепочечные РНК-вирусы с положительной цепью, принадлежащие к семейству *Coronaviridae*, отряду *Nidovirales*. Международный комитет по таксономии вирусов (ICTV) классифицирует *CoV* на четыре категории: α , β , γ и δ . Под электронным микроскопом частицы вируса (рис. 1) имеют грубую сферическую или многогранную кристаллическую форму. Поверхность вирусов имеет выступающие булавовидные выступы, состоящие из его шиповидного белка. Внутри вирусной частицы находится вирусный геном, завернутый в нуклеокапсид. Вирусный геном содержит примерно от 26 000 до 32 000 оснований. Поверхность вирусов имеет выступающие булавовидные выступы, состоящие из его шиповидного белка. *CoVs* являются самыми крупными известными РНК-вирусами. Вирусная РНК с положительной цепью состоит из структуры колпачка на 5* конце и нескольких поли(А) хвостов на 3* конце. Он служит в качестве РНК-мессенджера (мРНК), позволяя транслировать репликазу/транскриптазу и вирусные структурные белки. Гены репликазы/транскриптазы составляют приблизительно 2/3 последовательности РНК с 5* концом и состоят из двух перекрывающихся открытых рамок считывания (ОРС): ОРС1а и ОРС1b. ОРС кодируют 16 не-

структурных белков. Оставшаяся 1/3 последовательности РНК кодирует четыре классических вирусных структурных белка, а именно белок шипа, белок оболочки, белок мембраны и белок нуклеокапсида. Кроме того, гены, кодирующие некоторые вирусные вспомогательные белки, перемежаются в кодирующих областях вирусных структурных белков. Кодирующие сайты и количество этих вспомогательных белковых генов являются важной основой для классификации *CoV*. *CoV*s могут заражать различные виды хозяев, включая птиц, людей и некоторых других позвоночных. Эти вирусы, в основном, вызывают респираторные и кишечные инфекции и вызывают различные клинические проявления [2].

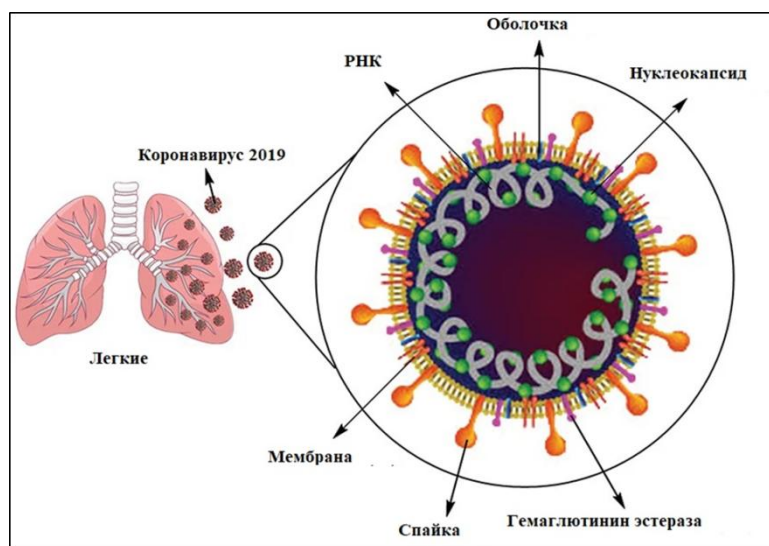


Рисунок 1. Структура вируса SARS-CoV-2

Основными клетками-мишенями для коронавирусов являются клетки альвеолярного эпителия, в цитоплазме которых происходит репликация вируса. После сборки вирионов они переходят в цитоплазматические вакуоли, которые мигрируют к мембране клетки и путем экзоцитоза выходят во внеклеточное пространство. Экспрессии антигенов вируса на поверхность клетки до выхода вирионов из клетки не происходит, поэтому антителообразование и синтез интерферонов стимулируются относительно поздно. Образование синцития под воздействием вируса обуславливает возможность последнего быстро распространяться в ткани. Действие вируса вызывает повышение проницаемости клеточных мембран и усиленный транспорт жидкости, богатой альбумином, в интерстициальную ткань лёгкого и просвет альвеол. При этом разрушается сурфактант, что ведёт к коллапсу альвеол, в результате резкого нарушения газообмена развивается острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС) [3].

Новая коронавирусная инфекция, вызванная вирусом SARS-CoV-2, характеризуется системной гиперовоспалительной реакцией с выраженным повышением содержания провоспалительных цитокинов, получившей название «цитокиновая буря» (рис. 2). По современным представлениям, «цитокиновая буря» является ведущей причиной развития тяжелой клинической картины COVID-19 и прогрессирования заболевания до полиорганной недостаточности [4].

Цитокины — низкомолекулярные белки, секретируемые иммунными клетками организма, при нормальном количестве обладают защитным для организма действием, связанным с ограничением повреждённой ткани при воспалении, однако при их чрезмерной секреции наблюдается противоположный, опасный, эффект, получивший название «цитокинового шторма».

Цитокины, продуцируемые Т-хелперами 1 типа (Th1), являются важнейшими индукторами клеточного иммунного ответа, гемопоэза и репаративных процессов. Цитокины, продуцируемые Т-хелперами 2 типа (Th2), способствуют активации В-клеток и продукции антител, т.е. они активируют гуморальный иммунный ответ. Th2-цитокينات принимают участие в развитии аллергических реакций и оказывают противовоспалительное действие. Недостаток Th1-цитокينات в совокупности с высоким уровнем Th2-цитокينات является признаком иммуносупрессии и анергии иммунного ответа. В некоторых случаях критерием дисрегуляции иммунной системы является именно дисбаланс цитокинов оппозитных пулов, а не уровень гиперцитокинемии отдельно взятого медиатора. Для определения

дисбаланса важное значение имеет оценка соотношения прежде всего интерферона γ (ИФН γ)/интерлейкина-10 (ИЛ-10) — ведущих цитокинов в своих группах. Чрезмерная продукция цитокинов приводит к развитию системной воспалительной реакции и вовлечению отдаленных органов.

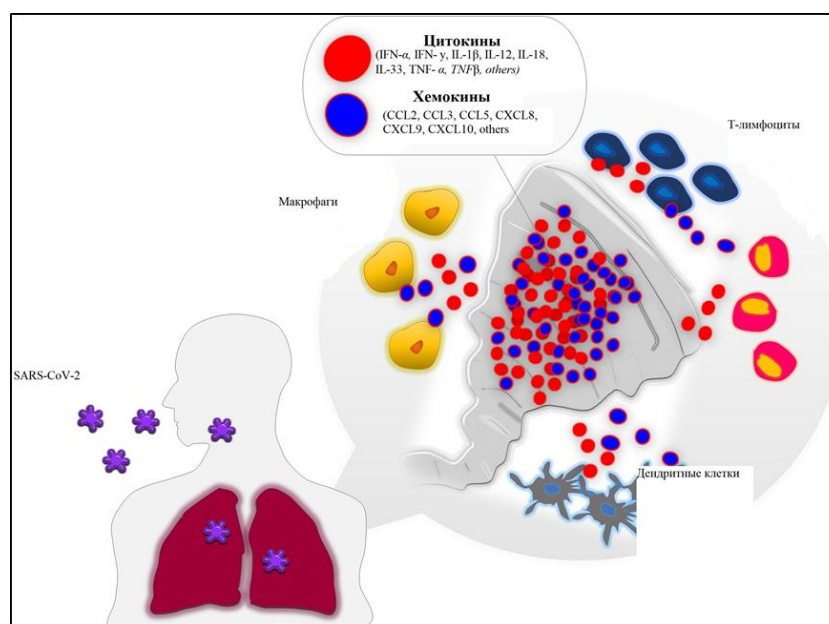


Рисунок 2. Схематическое изображение развития «цитокинового шторма» после заражения SARS-CoV-2

Классические провоспалительные цитокины: фактор некроза опухоли α (ФНО α), интерлейкин-1 (ИЛ-1), интерлейкин-6 (ИЛ-6) — в избыточных концентрациях за счет системных эффектов участвуют в формировании полиорганной недостаточности, продромального синдрома, проявляющегося снижением аппетита, сонливостью, лихорадкой, повышением болевой чувствительности. Высокий уровень секреции этих цитокинов служит непосредственной причиной развития септического шока. Бактериемия приводит к избыточной стимуляции моноцитов/макрофагов и гиперпродукции ФНО α , ИЛ-1, ИЛ-6, вызывающих запредельную активацию нейроэндокринной системы, избыточное образование метаболитов цикла арахидоновой кислоты и оксида азота, внутрисосудистое свертывание крови. Клинически это проявляется в характерных симптомах септического шока, нарушении микроциркуляции и снижении артериального давления [5].

Все цитокины, а их в настоящее время известно более 30, по структурным особенностям и биологическому действию делятся на несколько самостоятельных групп. Группировка цитокинов по механизму действия позволяет разделить цитокины на следующие группы:

- *провоспалительные*, обеспечивающие мобилизацию воспалительного ответа (интерлейкины 1, 2, 6, 8, ФНО- α , гамма-интерферон);
- *противовоспалительные*, ограничивающие развитие воспаления (интерлейкины 4, 10);
- *регуляторы клеточного и гуморального иммунитета* (естественного или специфического), обладающие собственными эффекторными функциями (противовирусными, цитотоксическими).

Спектры биологических активностей цитокинов в значительной степени перекрываются: один и тот же процесс может стимулироваться в клетке более чем одним цитокином.

Измерение содержания цитокинов — это одна из потенциальных возможностей оценки воспалительных реакций. Цитокины являются основными медиаторами иммунного ответа, их соотношение и динамика их содержания позволяют описать иммунный статус и определить фазу и прогноз заболевания.

Термин «цитокиновый шторм» впервые был применён в медицинской литературе J.L. Ferrara и соавторами в 1993 г. при изучении реакции отторжения трансплантата. «Цитокиновый шторм» — воспалительная реакция в организме, при которой уровень цитокинов в крови резко возрастает, что приводит к атаке иммунитета на клетки и ткани собственного организма. Следствием этого может стать разрушение тканей и органов, и, как следствие, гибель организма (рис. 3) [6].

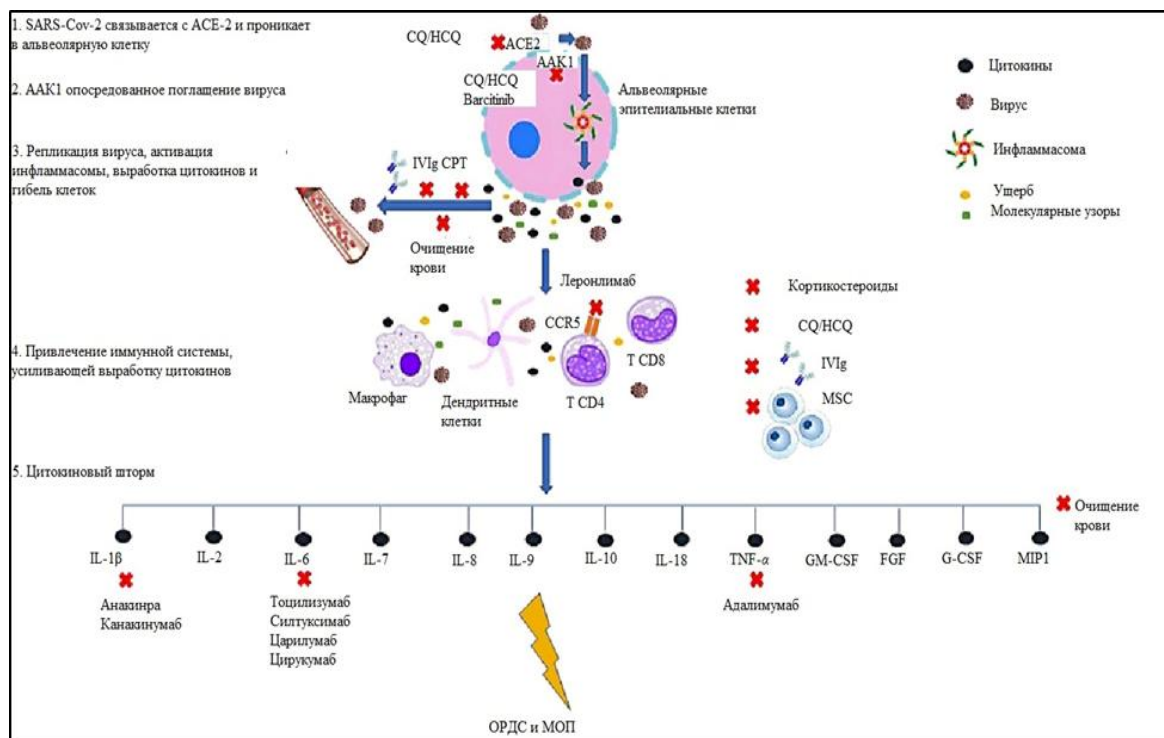


Рисунок 3. Цитокиновый шторм, вызванный инфекцией SARS-CoV-2, становится основным механизмом, приводящим к ОРДС и МОП при COVID-19

Патофизиология новых тяжелых коронавирусных инфекционных заболеваний определяется интенсивным воспалением, вызванным инфицированием и быстрой репликацией вирусов *in vivo*. Острый респираторный дистресс-синдром возникает как первичное проявление полиорганных повреждений. Эти синдромы, становясь чрезмерными и неконтролируемыми, в конечном итоге, могут привести к синдрому полиорганной дисфункции и смерти пациента, SARS-CoV-2 инфицирует клетки дыхательных путей, альвеолярные эпителиальные клетки и эндотелиальные клетки сосудов благодаря быстрой репликации вируса, который затем индуцирует апоптоз (запрограммированную гибель) клеток и увеличение проницаемости сосудов [7].

SARS-CoV-2 имеет семь сохраненных неструктурных доменов, подобных SARS-CoV, что предполагает связь между двумя бетакоронавирусами. Несмотря на аминокислотные различия с SARS-CoV, SARS-CoV-2 имеет аналогичный рецептор — связывающий домен, аналогичный домену SARS-CoV, за счет использования ангиотензин превращающего фермента II (ACE2) для входа в клетку-хозяина. Выявлено, что SARS-CoV-2 может проникать в клетки, экспрессирующие ACE2, полученные от людей, китайских подковообразных летучих мышей, циветты и свиней. Проникновение SARS-CoV-2 через ACE2 человека зависит от трансмембранной сериновой протеазы 2 (TMPRSS2) и эндосомальных цистеиновых протеаз катепсина В и L (CatB/L) для инициирования вирусных спайков (спайков) белка. TMPRSS2 необходим для расщепления вирусной оболочки, расположенной в тримерном S-белке на участках S1/S2 и S2', что приводит к слиянию вирусной и клеточной мембран, опосредованному S2-субъединицей S-белка, после взаимодействия S1-субъединицы с рецептором клеточной поверхности и для последующей интернализации вируса в легочный эпителий. Примечательно, что хлорид аммония, ингибитор CatB/L, ингибировал вход белка SARS-CoV-2-S в 293 T-клетки (TMPRSS2-отрицательные), экспрессирующие ACE2, но в меньшей степени в клетки Caco-2 (TMPRSS2-положительные). Клинически доказанный ингибитор TMPRSS2, мезилат камостата (NCT04321096), который одобрен для клинического применения в Японии для лечения воспаления поджелудочной железы, частично предотвращал проникновение SARS-CoV-2 в клетки Caco-2, но вместе с E-64d ингибитор CatB/L полностью подавлял проникновение. Кроме того, принудительная экспрессия TMPRSS2 спасла зависимый от SARS-CoV-2-S вход в 293 T-клетки, подавленные CatB/L, что позволяет предположить, что вход SARS-CoV-2 индуцируется, когда клетки экспрессируют TMPRSS2 независимо от экспрессии CatB/L, и что вход в клетки SARS-CoV-2 зависит от поверхностных молекул

ACE2 и TMPRSS2. Таким образом, ACE2 и TMPRSS2 могут быть преобладающими мишенями для терапии COVID-19 [8].

Проникновение SARS-CoV-2 в макрофаги способствует активации инфламмосомы NLRP3, продукции и секреции IL-1 β и развитию пироптоза. Пироптоз — это форма запрограммированной гибели клеток, при которой макрофаги, вызывающие воспаление за счет секреции IL-1 β и IL-18, подавляют рост вирусов в клетках [9].

Когда тяжелый острый респираторный синдром коронавируса (ОРДС) поражает клетки, экспрессирующие поверхностные рецепторы ангиотензин-превращающего фермента 2 и TMPRSS2, активная репликация и высвобождение вируса заставляют клетку-хозяина высвободить связанные с повреждением молекулярные структуры, включая АТФ, нуклеиновые кислоты и олигомеры ASC. Они распознаются соседними эпителиальными клетками, эндотелиальными клетками и альвеолярными макрофагами, вызывая генерацию провоспалительных цитокинов и хемокинов (включая IL-6, IP-10, макрофагальный воспалительный белок 1 α (MIP1 α), MIP1 β и MCP1). Эти белки привлекают моноциты, макрофаги и Т-клетки к месту инфекции, способствуя дальнейшему воспалению.

IL-6 может передавать сигналы по двум основным путям, которые называются классической цис-передачей или транс-передачей. При передаче цис-сигналов IL-6 связывается с мембраносвязанным рецептором IL-6 (mIL-6R) в комплексе с gp130; нисходящая сигнальная трансдукция опосредуется, в свою очередь, JAKs (Janus kinases) и STAT3 (сигнальный преобразователь и активатор транскрипции-3). Связанный с мембраной комплекс gp130 экспрессируется повсеместно, в отличие от mIL-6R, экспрессия которого ограничена в основном иммунными клетками. Активация передачи сигналов в рамках цис-передачи приводит к плеiotропным эффектам на приобретенный иммунитет (В- и Т-клетки), а также врожденную иммунную систему (нейтрофилы, макрофаги и естественные клетки-киллеры (NK)), которые могут вносить вклад в возникновение цитокинового шторма.

Воспаление развивается в самых разных органах и в сочетании с нехваткой кислорода может привести к их недостаточности. ОРДС, наблюдаемый при тяжелом течении COVID-19, характеризуется затрудненным дыханием и низким уровнем кислорода в крови. В результате у некоторых пациентов могут развиваться вторичные бактериальные и грибковые инфекции. ОРДС может привести к дыхательной недостаточности, которая является причиной смерти в 70 % случаев летальных исходов COVID-19. Кроме того, мощный выброс цитокинов иммунной системой в ответ на вирусную инфекцию и вторичные инфекции могут привести к симптомам сепсиса, который является причиной смерти в 28 % летальных случаев COVID-19, вследствие неконтролируемого воспаления, приводящего к полиорганной недостаточности (см. табл.), особенно поражая сердечную, печеночную и почечную системы [10].

Т а б л и ц а

Основные признаки при цитокиновом шторме в организме

Органы и системы	Симптомы
Общие симптомы	Лихорадка, головная боль, анорексия, недомогание, миалгия
Кожа	Кожные высыпания
Кровь и гемостаз	Цитопения (анемия, лейкопения, лимфопения, тромбоцитопения), увеличение D-димера, гипофибриногенемия
Сердечно-сосудистая система	Легкие симптомы: тахикардия с лихорадкой Тяжелые симптомы: повышение тропонина, гипотония, снижение сердечного выброса, аритмия, остановка сердца
Дыхательная система (легкие)	Гипоксия, одышка, отек легких, пневмония, острый респираторный дистресс-синдром
ЖКТ	Диарея, боль в животе, колит, гипербилирубинемия, увеличение печеночных ферментов
Почки	Электролитный дисбаланс, азотемия, повреждение почек вследствие снижения почечной перфузии
Нервная система	Головная боль, спутанность сознания, галлюцинации, дисфагия, тремор, судороги, паралич лицевого нерва, измененная походка
Костно-мышечный аппарат	Повышенная креатинкиназа, миалгия, слабость

Взаимодействие вирус–хозяин играет важную роль в клиническом течении и исходах COVID-19. Врожденные иммунные и воспалительные реакции хозяина на инфекцию *SARS-CoV-2* являются важнейшими факторами, способствующими клиническим проявлениям и патогенезу заболевания.

Фрагменты вирусной РНК или промежуточные продукты репликации в виде вирусных патоген-ассоциированных молекулярных паттернов (PAMPs) могут быть распознаны рецепторами распознавания образов (PRR). Взаимодействия PAMP/PRR запускают лежащие ниже внутриклеточные сигнальные пути, которые завершаются активацией двух типов критических факторов транскрипции — регуляторных факторов интерферона (IRFS) и ядерного фактора карра В (NF- κ B). Считается, что продукты IRF3-опосредованного ИФН и стимулированного ИФН гена (ISG) играют ключевую роль в противовирусной защите на ранней стадии. Например, трехсторонний мотив, содержащий 56, противовирусный ISG, обеспечивает прямую противовирусную активность против распространения HCoV-OC43, блокируя более поздний этап его жизненного цикла после репликации РНК. ИФН I типа, секретируемый инфицированными клетками, отвечает за установление «противовирусного» состояния в соседних клетках. Принимая во внимание, что опосредованная NF- κ B продукция цитокинов/хемокинов необходима для более поздних воспалительных реакций, цитокинового шторма и иммунопатогенеза в различных клетках и тканях [11].

Кроме того, у пациентов с COVID-19 были обнаружены повышенные уровни ИЛ-1, ИФН- γ . Эти воспалительные цитокины могут стимулировать активацию клеток Т-хелперов 1-го типа (Th1). Реакция Th1 является решающим событием в реакции иммунной системы. Однако, в отличие от пациентов с атипичной пневмонией, у лиц, пострадавших от COVID-19, также наблюдался более высокий уровень секретируемых клетками Th2 цитокинов (ИЛ-4 и ИЛ-10), которые подавляют воспалительную реакцию. Уровни этих цитокинов в сыворотке крови у пациентов с COVID-19 связаны с более высокой тяжестью заболевания. Кроме того, у пациентов с COVID-19 в отделениях интенсивной терапии были выявлены повышенные уровни в сыворотке крови гранулоцитарного колониестимулирующего фактора, ФНО- α и воспалительного белка макрофагов 1A, соответствующие пациентам из общих районов. Цитокиновый шторм произошел в ответ на инфекцию *SARS-CoV-2* и вызвал усиление регуляции группы естественных киллеров 2 на естественных киллерах и цитотоксических Т-клетках. Это увеличение подавляло функцию этих клеток и противодействовало высвобождению цитокинов. Другим эффектом быстрой репликации вируса и сильной про-воспалительной реакции является индукция апоптоза в легочных эндотелиальных и эпителиальных клетках. В частности, ИФН вызывают инфильтрацию воспалительных клеток посредством механизмов, включая TRAIL (лиганд, индуцирующий апоптоз, связанный с TNF)-рецептор смерти 5 и лиганд Fas–Fas [12]. Апоптоз эндотелиальных и эпителиальных клеток легких повреждает барьеры дыхательных микрососудов и альвеолярных эпителиальных клеток, приводя к отеку альвеол, утечке сосудов и, наконец, вызывая гипоксию во всем организме. Следовательно, медиаторы воспаления лежат в основе патогенеза ОРДС. Известно, что в развитии ОРДС участвуют несколько провоспалительных цитокинов (ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-1 β и колониестимулирующий фактор гранулоцитомакрофагов), хемокины (такие как CCL2, CCL5, IFN γ -индуцированный белок 10 (IP-10) и CCL3) и активные формы кислорода [12].

После инфекции *SARS-CoV* высокая вирусная нагрузка и повышенный иммунный ответ приводят к воспалительному цитокиновому шторму, сопровождающемуся иммунопатологическими изменениями в легких, а затем и в других органах. ОРДС и полиорганная недостаточность появились быстро, что привело к смерти в течение короткого периода.

В целом, цитокиновый шторм считается одной из основных причин ОРДС и полиорганной недостаточности. Патогенез ОРДС включает воспалительное повреждение альвеолярно-капиллярной мембраны с последующим улучшением легочной проницаемости и повышенным выделением богатой белками жидкости в воздушные пространства, вызывая дыхательную недостаточность. Текущее лечение COVID-19 является поддерживающим, и дыхательная недостаточность от ОРДС является основной причиной смерти [13].

Вторичный гемофагоцитарный лимфогистиоцитоз (ГЛГ) — это недостаточно признанный гипервоспалительный синдром, характеризующийся фульминантной и фатальной гиперцитокинемией с полиорганной недостаточностью. У взрослых ГЛГ чаще всего вызывается вирусными инфекциями и встречается примерно в 4 % случаев сепсиса. Ключевые характеристики ГЛГ, включающие хроническую лихорадку, гиперферритинемию, цитопению и поражение легких (включая ОРДС), появились примерно у 50 % пациентов. Цитокиновый профиль, напоминающий ГЛГ, связан с тяжестью заболевания COVID-19, характеризующейся повышением уровня ИЛ-2, ИЛ-7, гранулоцитарно-колониестимулирующего фактора [14].

стимулирующий фактор, индуцируемый ИНФ- γ белок 10, CCL1, воспалительный белок макрофагов 1- α и ФНО- α . Недавнее ретроспективное многоцентровое исследование 150 подтвержденных китайских пациентов с COVID-19 показало, что предикторами смертности были более высокие уровни ИЛ-6 и ферритина (в среднем 1297,6 нг/мл у не выживших против 614,0 нг/мл у выживших), что указывает на то, что летальность от заболевания может быть обусловлена гиперинфляцией, вызванной вирусами. Отчет о SARS-CoV-2 показал, что более 70 % пострадавших пациентов нуждались в искусственной вентиляции легких, и около 67 % страдали ОРДС. Кроме того, число смертей пожилых пациентов с ОРДС было значительно выше. Как мы упоминали выше, основным изменением ОРДС является повреждение легочной и интерстициальной ткани вследствие неспецифической клеточной инфильтрации, а ключевым фактором является локальное избыточное высвобождение цитокинов, что привело к патологическим изменениям во всем организме и клиническим симптомам. Таким образом, цитокиновый шторм лежит в основе возникновения и прогрессирования ОРДС. Уровни цитокинов в сыворотке крови у этих пациентов значительно повышены, и эта степень явно связана с уровнем смертности. Цитокиновый шторм также лежит в основе клинического прогрессирования внелегочного полиорганного коллапса. Это частично объясняет внелегочную недостаточность органов (повышенные ферменты печени и креатинин), обнаруженную у нескольких пациентов с COVID-19, у которых нет проблем с дыханием, что указывает на то, что цитокиновый шторм является триггером внелегочных повреждений в тканях и органах. Таким образом, новая коронавирусная инфекция приводит к воспалительному цитокиновому шторму у пострадавших пациентов. Цитокиновый шторм, в свою очередь, вызывает ОРДС и полиорганную недостаточность и представляет собой решающий фактор обострения COVID-19 или даже смертности [14].

Уровни ИЛ-1 β , ИЛ-6 и ФНО- α повышаются у пациентов с COVID-19, особенно в тяжелых формах, и могут играть центральную роль в определении диффузного повреждения тканей, связанного с синдромом освобождения цитокинов, что приводит к предположению, что препараты, ингибирующие эти молекулы, могут быть полезны для уменьшения этой преувеличенной воспалительной реакции.

Так как единых диагностических критериев «цитокинового шторма» на сегодняшний день не существует, в лабораторной диагностике, в первую очередь, обращают внимание на повышение ИЛ-10, ИНФ- γ , ИЛ-6 и ферритина.

В большинстве работ в качестве факторов неблагоприятного прогноза, связанных с феноменом «цитокиновой бури», использовались содержание С-реактивного белка и ИЛ-6 [15].

Клинические симптомы, такие как лихорадка, утомляемость, чувство недомогания и анорексия, а также повышенный уровень С-реактивного белка при воспалительных состояниях, отражают высокие уровни ИЛ-6 и ИЛ-1 β в плазме. Поэтому степень цитокиновой реакции у больного можно понять по анализу клинической картины и показателей анализа крови.

Цитокиновый шторм и, как следствие, ОРДС являются результатом воздействия комбинации многих иммуноактивных молекул. Интерфероны, интерлейкины, хемокины, колониестимулирующие факторы и ФНО- α представляют собой основные компоненты, участвующие в развитии цитокинового шторма, и будут кратко рассмотрены.

– *Интерфероны*, семейство цитокинов, играющих центральную роль в врожденном иммунитете, направленном на вирус, связывают специфические рецепторы и приводят к экспрессии генов, кодирующих белок с противовирусными или иммуномодулирующими свойствами. Эта последовательность событий способствовала терапевтическому применению ИФНС при некоторых вирусных заболеваниях, таких как хронический гепатит, но также и при невирусных состояниях, включая лейкемию и лимфому, меланому и рассеянный склероз [16].

– *Фактор некроза опухоли α (ФНО α)* представляет собой пирогенный цитокин, высвобождаемый иммунными клетками в острой фазе воспаления и инфекции. Он является центральным цитокином при вирусных заболеваниях и связан с рядом хронических воспалительных и аутоиммунных заболеваний.

– *Колониестимулирующие факторы (CSF)*. Эти белки связаны с воспалительными состояниями и являются компонентами каскада усиления, который в конечном итоге увеличивает выработку цитокинов макрофагами в очагах воспаления, этот эффект увековечивает воспалительную реакцию [17].

– *Интерлейкины* — это семейство цитокинов, участвующих в дифференцировке и активации иммунных клеток.

C-реактивный белок (СРБ) состоит из 5 одинаковых субъединиц, нековалентно связанных между собой. Молекулярная масса каждой субъединицы — 21–23 кДа, что дает, в целом, около 100 000 кДа. На одной из поверхностей молекулы расположен специфический участок, с которым связываются ионы кальция. После соединения с кальцием СРБ приобретает способность связывать лиганды (в частности, фосфохолин — гидрофобный компонент клеточных мембран). На другой поверхности молекулы расположен еще один специфический участок, он отвечает за связывание рецепторов и С1q комплемента. Таким образом, одним своим участком СРБ опознает чужеродный антиген, а другим привлекает к нему средства для уничтожения. В целом, СРБ имеет много свойств, характерных для иммуноглобулинов: связывается с бактериальными полисахаридами и гликолипидами, с поврежденными мембранами и с экспонированными ядерными антигенами. Это, в свою очередь, приводит к связыванию с С1q и к активации классического каскада комплемента, что в результате вызывает фиксацию расщепленных продуктов фаголитического комплемента. СРБ также связывается с Fc-рецепторами и повышает фагоцитоз определенных антигенов и микроорганизмов.

С-реактивный белок впервые был найден в сыворотке крови больного, инфицированного *Streptococcus pneumoniae*, в лаборатории Oswald Avery (Институт Рокфеллера, Нью-Йорк) в 20-х гг. прошлого века. Исследователи фракционировали белки бактерии *S. pneumoniae* и обнаружили, что одна из фракций, полученных при разделении, обозначенная как фракция «С», осаждает белки, присутствующие в сыворотке крови больных пневмонией. Субстанцию фракции «С» они назвали «С-полисахаридом пневмококка» (PnC), а белок крови — С-реактивным белком, уровень которого при пневмококковой инфекции возрастал на несколько порядков. Как позже было установлено, ответ СРБ на инфекцию был связан с увеличением его синтеза гепатоцитами под действием провоспалительных цитокинов. В настоящее время определение уровня СРБ в клинических исследованиях служит индикатором процессов воспаления. Его биологическая функция связана с удалением клеток, находящихся в состоянии апоптоза и некроза, и носит название опсонофагоцитоз.

В экспериментах на животных СРБ оказывал защитный эффект, снижая уровень бактериемии, и повышал выживаемость животных [64]. Обычно СРБ появляется в крови намного раньше появления антител. Наряду с ещё 40 белками он относится к так называемой группе белков «острой фазы». Они включают в себя белки свёртывающей системы крови, факторы комплемента, антипротеазы, транспортные белки и являются важными компонентами первой неспецифической линии защиты организма.

Уровень СРБ, по данным многих исследователей из разных стран, тесно коррелирует с тяжестью течения, объемом пораженной легочной ткани по данным компьютерной томографии (КТ), прогрессированием и прогнозом COVID-19 [66]. СРБ вырабатывается в СРБ повышается у 75–93 % больных COVID-19 уже с первых дней болезни и используется практически всеми врачами как один из важных критериев тяжести заболевания. Тем не менее у отдельных больных COVID-19 СРБ повышается медленнее и может оставаться в пределах нормальных значений длительное время, несмотря на присутствие других критериев тяжелого течения заболевания. Такие пациенты могут представлять определенные трудности при оценке тяжести течения и подборе патогенетической терапии. В данной статье приводятся 2 клинических случая течения COVID-19 с поздним повышением СРБ [18].

Прокальцитонин (ПКТ) — предшественник гормона кальцитонина, впервые описанный как белок, вырабатываемый в нейроэндокринных С-клетках щитовидной железы, состоящий из 116 аминокислот, имеющий молекулярную массу 14,5 кДа. Известно, что ПКТ регулирует метаболизм кальция и ингибирует резорбцию костной ткани остеокластами.

ПКТ показывает себя значимым маркером серьезной бактериальной инфекции. Используется для выделения инвазивной бактериальной инфекции, для назначения и оценки эффективности антибактериальной терапии. Применение теста по определению содержания ПКТ поможет снизить частоту неоправданных назначений и длительность проводимой антибиотикотерапии без повышения частоты развития нежелательных явлений. Концентрация ПКТ наряду с клинической симптоматикой обычно рассматривается как приоритетный ход в решении вопроса о назначении системного антибиотика. Относительно длительности курса антибиотика мы ориентируемся на международные согласительные документы, касающиеся той или иной нозологии. Тем не менее, именно ПКТ помогает в обосновании необходимости назначения второго антибиотика или в переходе с парентерального введения на пероральный прием. При тяжелой инфекции уровень ПКТ повышается достаточно быстро и сохраняется длительно, что делает его специфическим маркером сепсиса. ПКТ используется в

клинической практике для диагностики и контроля за эффективностью антибактериальной терапии (АБТ) при лечении внебольничной пневмонии (ВП), сепсиса [19].

Ферритин — один из привлекающих к себе внимание биомаркеров, концентрация которого в крови, особенно при тяжелом течении COVID-19, значительно повышается. Информация о влиянии гиперферритинемии на исход заболевания весьма противоречива, как противоречивы и представления о причинах ее возникновения [20].

Заключение

Воспаление является неотъемлемой частью эффективного иммунного ответа. Трудно успешно устранить инфекции без воспаления. Воспалительная реакция начинается с первоначального распознавания патогенов. Затем патогены опосредуют набор иммунных клеток, что устраняет патогены и в конечном итоге приводит к восстановлению тканей и восстановлению гомеостаза. Однако SARS-CoV-2 вызывает чрезмерные и длительные реакции цитокинов/хемокинов у некоторых инфицированных людей, известные как цитокиновый шторм. Цитокиновый шторм вызывает ОРДС или полиорганную дисфункцию, что приводит к физиологическому ухудшению и смерти. Своевременный контроль цитокинового шторма на его ранней стадии с помощью таких средств, как иммуномодуляторы и антагонисты цитокинов, а также уменьшение инфильтрации воспалительных клеток легких, является ключом к повышению эффективности лечения и снижению смертности пациентов с COVID-19.

Список литературы

- 1 Wu Z. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China. Summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention / Z. Wu, J. McGoogan // *JAMA*. — 2020. — Vol. 323 (13). — P. 1239–1242. <https://jamanetwork.com/on03/16/2020>
- 2 Sadeghi Dousari A. COVID-19 (Coronavirus Disease 2019): A New Coronavirus Disease / A. Sadeghi Dousari, M. Taati Moghadam, N. Satarzadeh // *Infect Drug Resist*. — 2020. — Vol. 13. — P. 2819–2828. <https://doi.org/10.2147/IDR.S259279>
- 3 Liu J. Overlapping and discrete aspects of the pathology and pathogenesis of the emerging human pathogenic coronaviruses SARS-CoV, MERS-CoV, and 2019-nCoV / J. Liu., X. Zheng, Q. Tong, W. Li, B. Wang, K. Sutter, M. Trilling, M. Lu, U. Dittmer, D. Yang // *J Med Virol*. — 2020. <https://doi.org/10.1002/jmv.25709>
- 4 Coperchini F. The cytokine storm in COVID-19: An overview of the involvement of the chemokine/chemokine-receptor system / F. Coperchini, L. Chiovato, L. Croce, F. Magri, M. Rotondi // *Cytokine & Growth Factor Reviews*. — 2020. — Vol. 53. — P. 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.05.003>
- 5 Козлов В.К. Дисфункция иммунной системы в патогенезе сепсиса: возможности диагностики / В.К. Козлов // *Цитокины и воспаление*. — 2006. — Т. 5, № 2. — С. 15–29.
- 6 Iannaccone G. Weathering the Cytokine Storm in COVID-19: Therapeutic Implications / G. Iannaccone, R. Scacciavillani, M.G. Del Buono, M. Camilli, C. Ronco, C.J. Lavie, A. Abbate, F. Crea, M. Massetti, N. Aspromonte // *Cardiorenal Medicine*. — 2020. — P. 1–11.
- 7 Yang M. Cell Pyroptosis, a Potential Pathogenic Mechanism of 2019-nCoV / M. Yang // *Infection*. — 2020. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3527420>
- 8 Li W. Angiotensin-converting enzyme 2 is a functional receptor for the SARS coronavirus / W. Li, M.J. Moore, N. Vasilieva, J. Sui, S.K. Wong, M.A. Berne, M. Somasundaran, J.L. Sullivan, K. Luzuriaga, T.C. Greenough, H. Choe, M. Farzan // *Nature*. — 2003. — Vol. 426 (6965). — P. 450–454.
- 9 Man S.M. Molecular mechanisms and functions of pyroptosis, inflammatory caspases and inflammasomes in infectious diseases / S.M. Man., R. Karki, T.D. Kanneganti // *Immunol Rev*. — 2017. — Vol. 277. — P. 61–75.
- 10 Zhou P. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin / P. Zhou, L. Yang, X.G. Wang, B. Hu, L. Zhang, W. Zhang et al. // *Nature*. — 2020. — Vol. 579 (7798). — P. 270–273.
- 11 Liu B. The C-terminal tail of TRIM56 dictates antiviral restriction of influenza A and B viruses by impeding viral RNA synthesis / B. Liu, N.L. Li, Y. Shen, X. Bao, T. Fabrizio, H. Elbahesh, R.J. Webby, K. Li // *J. Virol*. — 2016. — Vol. 90 (9). — P. 4369–4382.
- 12 Cameron M.J. Human immunopathogenesis of severe acute respiratory syndrome (SARS) / M.J. Cameron, J.F. Bermejo-Martin, A. Danesh, M.P. Muller, D.J. Kelvin // *Virus Res*. — 2008. — Vol. 133. — P. 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2007.02.014>
- 13 Ruan Q. Clinical predictors of mortality due to COVID-19 based on an analysis of data of 150 patients from Wuhan, China / Q. Ruan, K. Yang, W. Wang, L. Jiang, J. Song // *Intensive Care Med*. — 2020. — Vol. 46. — P. 846–848. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05991-x>
- 14 Yang X. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study / X. Yang, Y. Yu, J. Xu, H. Shu, J. Xia, H. Liu, Y. Wu, L. Zhang, Zh., Yu, M. Fang,

T. Yu, Y. Wang, Sh. Pan, X. Zou, Sh. Yuan, Y. Shang // *Lancet Respir Med.* — 2020. — Vol. 8. — P. 475–481. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30079-5](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30079-5)

15 Potempa L.A. Insights into the Use of C-Reactive Protein as a Diagnostic Index of Disease Severity in COVID-19 Infections / L.A. Potempa, I.M. Rajab, P.C. Hart, J. Bordon, R. Fernandez-Botrano // *Am J Trop Med Hyg.* — 2020. — Vol. 103 (2). — P. 561–563. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0473>

16 Friedman R.M. Clinical uses of interferons / R.M. Friedman // *Br. J. Clin. Pharmacol.* — 2008. — Vol. 65 (2). — P. 158–162.

17 Hamilton J.A. Colony-stimulating factors in inflammation and autoimmunity / J.A. Hamilton // *Nat. Rev. Immunol.* — 2008. — Vol. 8 (7). — P. 533–544.

18 Liu F. Prognostic value of interleukin-6, C-reactive protein, and procalcitonin in patients with COVID-19 / F. Liu, L. Li, M. Da Xu, J. Wu, D. Luo, Y. Zhu, B. Li, X. Song, X. Zhou // *J. Clin. Virol.* — 2020. — Vol. 127. — P. 104370. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2020.104370>

19 Зайцев А.А. Биологические маркеры воспаления при внебольничной пневмонии / А.А. Зайцев, Ю.В. Овчинников, Т.В. Кондратьева // *Consilium Medicum.* — 2014. — № 11. — С. 36–41.

20 Гудима Г.О. Молекулярно-иммунологические аспекты диагностики, профилактики и лечения коронавирусной инфекции / Г.О. Гудима, Р.М. Хаитов, Д.А. Кудлай, М.Р. Хаитов // *Иммунология.* — 2021. — Т. 42, № 3. — P. 198210. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2021-42-3-198-210>

А. Бериккызы, Н.Т. Аблайханова, Г.А. Тусупбекова, Л.С. Кожамжарова

Коронавирустың ағзаның иммундық жүйесіне әсері Әдеби шолу

Мақалада коронавирус ауруы (COVID-19) кезіндегі тірі ағзаның функционалдық жағдайы туралы ғылыми деректер қарастырылған. Цитокиндер ағзаның иммундық жасушалары шығаратын төмен молекулалы ақуыздар қалыпты мөлшерде қабыну кезінде зақымдалған тіндердің бөлінуіне байланысты организм үшін қорғаныс әсеріне ие. Қазіргі уақытта 30-дан астам белгілі түрлері бар, құрылымдық ерекшеліктері мен биологиялық әсері бойынша олар бірнеше топтарға бөлінеді. Цитокиндердің шығарылу синдромы немесе цитокиндік дауыл деп аталатын вирустық инфекцияға жауап ретінде цитокиндердің көбеюі COVID-19 кезінде жедел респираторлық дистресс-синдромына (ЖРДС) және полиағзалық жеткіліксіздікке (ПАЖ) әкелетін механизмге айналады, осылайша дұрыс таңдалған қабынуғақарсы терапевтік стратегиялар клиникалық нәтижелер мен пациенттердің үлгерімін жақсартып алады деген болжамды растайды. Бүгінгі күні «цитокиндік дауылдың» бірінші диагностикалық критерийлері болмағандықтан, зертханалық диагностикада бірінші кезекте интерлейкин-1 β (ИЛ-1 β), интерлейкин-6 (ИЛ-6), С-реактивті ақуыз (СРБ) және ферритин, прокальцитониннің жоғарылауына назар аударылған.

Кілт сөздер: коронавирус ауруы (COVID-19), SARS-CoV-2, цитокиндік дауыл, интерлейкин-1 β (ИЛ-1 β), интерлейкин-6 (ИЛ-6), С-реактивті ақуыз (CRP), ферритин, прокальцитонин.

A. Berikkyzy, N.T. Ablaihanova, G.A. Tussupbekova, L.S. Kozhamzharova

The effect of coronavirus on the body's immune system (the literature review)

This article presents the scientific review on the functional state of the living organism in coronavirus disease (COVID-19). Increased cytokine release in response to viral infection, known as cytokine release syndrome or cytokine storm, becomes a mechanism leading to acute respiratory distress syndrome (ARDS) and multiple organ failure (MOF) in COVID-19, thus supporting the hypothesis that appropriately selected anti-inflammatory therapeutic strategies can improve clinical outcomes and patient progress. Cytokines are low molecular weight proteins secreted by the body's immune cells, in normal amounts have a protective effect on the body related to the delimitation of damaged tissue during inflammation. Currently, there are more than 30 types, divided into several independent groups according to their structural features and biological action. As there are no uniform diagnostic criteria for a cytokine storm, the main focus of laboratory diagnosis is on elevations of interleukin-1 β (IL-1 β), interleukin-6 (IL-6), C-reactive protein (CRP) and ferritin, procalcitonin.

Keyword: coronavirus disease (COVID-19), SARS-CoV-2, cytokine storm, interleukin-1 β (IL-1 β), interleukin-6 (IL-6), C-reactive protein (CRP), ferritin, procalcitonin.

References

- 1 Wu, Z., & McGoogan, J. (2020). Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China. Summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*, 323 (13); 1239–1242. <https://jamanetwork.com/on03/16/2020>
- 2 Sadeghi Dousari, A., Taati Moghadam, M., & Satarzadeh, N. (2020). COVID-19 (Coronavirus Disease 2019): A New Coronavirus Disease. *Infect Drug Resist.*, 13; 2819–2828. <https://doi.org/10.2147/IDR.S259279>
- 3 Liu, J., Zheng, X., Tong, Q., Li, W., Wang, B., Sutter, K., Trilling, M., Lu, M., Dittmer, U., & Yang, D. (2020). Overlapping and discrete aspects of the pathology and pathogenesis of the emerging human pathogenic coronaviruses SARS-CoV, MERS-CoV, and 2019-nCoV. *J Med Virol.* <https://doi.org/10.1002/jmv.25709>
- 4 Coperchini, F., Chiovato, L., Croce, L., Magri, F., & Rotondi, M. (2020). The cytokine storm in COVID-19: An overview of the involvement of the chemokine/chemokine-receptor system. *Cytokine & Growth Factor Reviews*, 53; 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.05.003>
- 5 Kozlov, V.K. (2006). Disfunktsiia immunnogo sistema v patogeneze sepsisa: vozmozhnosti diagnostiki [Immune system dysfunction in the pathogenesis of sepsis: diagnostic options]. *Tsitokiny i vospalenie — Cytokines and Inflammation*, 5 (2); 15–29 [in Russian].
- 6 Iannaccone, G., Scacciavillani, R., Del Buono, M.G., Camilli, M., Ronco, C., Lavie, C.J., Abbate, A., Crea, F., Massetti, M., & Aspromonte, N. (2020). Weathering the Cytokine Storm in COVID-19: Therapeutic Implications. *Cardiorenal Medicine*, 1–11.
- 7 Yang, M. (2020). Cell Pyroptosis, a Potential Pathogenic Mechanism of 2019-nCoV. *Infection* <https://doi.org/10.2139/ssrn.3527420>
- 8 Li, W., Moore, M.J., Vasilieva, N., Sui, J., Wong, S.K., Berne, M.A., Somasundaran, M., Sullivan, J.L., Luzuriaga, K., Greenough, T.C., Choe, H., & Farzan, M. (2003). Angiotensin-converting enzyme 2 is a functional receptor for the SARS coronavirus. *Nature*, 426 (6965); 450–454.
- 9 Man, S.M., Karki, R., & Kanneganti, T.D. (2017). Molecular mechanisms and functions of pyroptosis, inflammatory caspases and inflammasomes in infectious diseases. *Immunol Rev.*, 277; 61–75.
- 10 Zhou, P., Yang, X. L., Wang, X. G., Hu, B., Zhang, L., Zhang, W. & et al. (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579 (7798); 270–273.
- 11 Liu, B., Li, N. L., Shen, Y., Bao, X., Fabrizio, T., Elbahesh, H., Webby, R.J., & Li, K. (2016). The C-terminal tail of TRIM56 dictates antiviral restriction of influenza A and B viruses by impeding viral RNA synthesis. *J. Virol.*, 90 (9); 4369–4382.
- 12 Cameron, M.J., Bermejo-Martin, J.F., Danesh, A., Muller, M.P., & Kelvin, D.J. (2008). Human immunopathogenesis of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Virus Res.*, 133; 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2007.02.014>
- 13 Ruan, Q., Yang, K., Wang, W., Jiang, L., & Song, J. (2020). Clinical predictors of mortality due to COVID-19 based on an analysis of data of 150 patients from Wuhan, China. *Intensive Care Med.*, 46; 846–848. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05991-x>
- 14 Yang, X, Yu, Y., Xu, J., Shu, H., Xia, J., Liu, H., Wu, Y., Zhang, L., Yu, Zh., Fang, M., Yu, T., Wang, Y., Pan, Sh., Zou, X., Yuan, Sh., & Shang, Y. (2020). Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *Lancet Respir Med.*, 8; 475–481. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30079-5X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30079-5X).
- 15 Potempa, L.A., Rajab, I.M., Hart, P.C., Bordon, J., & Fernandez-Botran, R. (2020). Insights into the Use of C-Reactive Protein as a Diagnostic Index of Disease Severity in COVID-19 Infections. *Am J Trop Med Hyg.*, 103 (2); 561–563. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0473>
- 16 Friedman, R.M. (2008). Clinical uses of interferons. *Br. J. Clin. Pharmacol.*, 65 (2); 158–162.
- 17 Hamilton, J.A. (2008). Colony-stimulating factors in inflammation and autoimmunity. *Nat. Rev. Immunol.*, 8 (7); 533–544.
- 18 Liu, F., Li, L., Da, Xu, M., Wu, J., Luo, D., Zhu, Y., Li, B., Song, X., & Zhou, X. (2020). Prognostic value of interleukin-6, C-reactive protein, and procalcitonin in patients with COVID-19. *J. Clin. Virol.*, 127; 104370. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2020.104370>
- 19 Zaitsev, A.A., Ovchinnikov, Yu.V., & Kondrateva, T.V. (2014). Biologicheskie markery vospaleniia pri vnebolnichnoi pnevmonii [Biological markers of inflammation in community-acquired pneumonia]. *Consilium Medicum*, 11; 36–41 [in Russian].
- 20 Gudima, G.O., Haitov, R.M., Kudlaj, D.A., & Haitov, M.R. (2021). Molekuliarno-immunologicheskie aspekty diagnostiki, profilaktiki i lecheniia koronavirusnoi infektsii [Molecular and immunological aspects of diagnosis, prevention and treatment of coronavirus infection]. *Immunologiya — Immunology*, 42 (3); 198210. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2021-42-3-198-210> [in Russian].

А.А. Дүйсенбек*, Н.Т. Аблайханова, А.Т. Қалдықараева, А.Е. Есенбекова,
Б. Мухитдин, З.Б. Есимсиитова, Л. Қожамжарова

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
**Хат-хабарларға арналған автор: ayaulym040917@gmail.com*

2 типті қант диабеті бар науқастарда эндотелиальды дисфункциямен байланысты тамырлы асқынулар

Мақалада қант диабеті және оның асқынуларына, эндотелиальды дисфункцияның пайда болу механизміне және олардың өзара байланысына арналған 50-ден астам әдебиеттер талданды. 2 типті қант диабеті жүрек-қан тамырлар асқынуларының қаупін едәуір арттыратын созылмалы ауру болып табылады. Эндотелиальды дисфункция, диабеттік тамырлы асқынуларды диагностикалаудың ерте көрсеткіші ретінде қарастырылады. Қант диабеті кезіндегі ЭД-нің нақты патогенетикалық механизмдері әлі де түсініксіз болғанымен, бастапқы кезеңде олар азот оксидінің синтезін, митохондрияның тотығу фосфорлануының және тағы да басқа үдерістерді іске қосатындығы белгілі болған. Басқа да әсер етуші негізгі факторларға дислипедемия, тотығу стресі және қабыну жатады. Жұмыста гипергликемия, тотығу стресі, эндотелийдің өзгеруіндегі гликирленудің соңғы өнімдері туралы қазіргі заманғы әдеби деректер қарастырылды. Жеке бөлім тотығу стресіне және олардың қант диабетіндегі эндотелий дисфункциясының дамуындағы маңыздылығына арналған. Сонымен қатар, бұл шолуда эндотелий дисфункциясының пайда болуына қатысатын негізгі механизмдерге, оттегінің белсенді формаларының (ОБФ) көп мөлшерде өндірілуі, қабыну, сондай-ақ олардың жүрек-қан тамырлары қаупінің негізгі факторларымен өзара байланысына ерекше назар аударылған.

Кілт сөздер: 2 типті қант диабеті, эндотелий дисфункциясы, тотығу стресі, метаболикалық зақымдану, диабеттік асқынулар.

Kipicne

Қазіргі уақытта қант диабеті және онымен байланысты асқынулар бүкіл әлемде ауру мен өлімнің өте кең таралған себебі болып табылады. Қант диабеті көп жағдайда гипергликемиямен байланысты, бұл қандағы глюкозаның жоғарылауын білдіреді [1].

2 типті қант диабетінің дамуында ұйқы безінің қызметі негізгі рөл атқарады, дәлірек айтсақ, 2 типті қант диабетінің себебі қандағы глюкоза деңгейінің жоғарылауымен сипатталатын, ұйқы безінің Лангерганс аралшықтарында орналасқан β -жасушалар бөліп шығаратын инсулиннің жеткіліксіздігі болуы мүмкін [2]. Нәтижесінде бұл зат алмасуының барлық түрлерінің бұзылуына, қан тамырларының зақымдалуына және қант диабетімен байланысты асқынуларға әкеледі. Мұндай микро-және макро-тамырлы асқынуларға мыналар жатады: жүрек-қан тамырлары асқынулары, диабеттік нейропатия, ретинопатия, нефропатия және бауыр, бүйрек және жүрек тарапынан болатын көптеген басқа да асқынулар [3].

Қант диабетінің дамуын және оның асқынуларының таралуын түсіну оңай емес, өйткені бұл механизмдер күрделі болып табылады [4]. Қант диабетінің тамырлы асқынуларының патогенезінде эндотелиальды дисфункция маңызды рөл атқарады [5]. Осылайша, қант диабетінің патогенезіне қатысатын эндотелий дисфункциясының механизмін түсіну диабеттің әртүрлі асқынуларынан дамиды жүрек-қан тамырлары қатерлерінің алдын алу үшін қажет.

Тамырлы эндотелий және оның қызметі

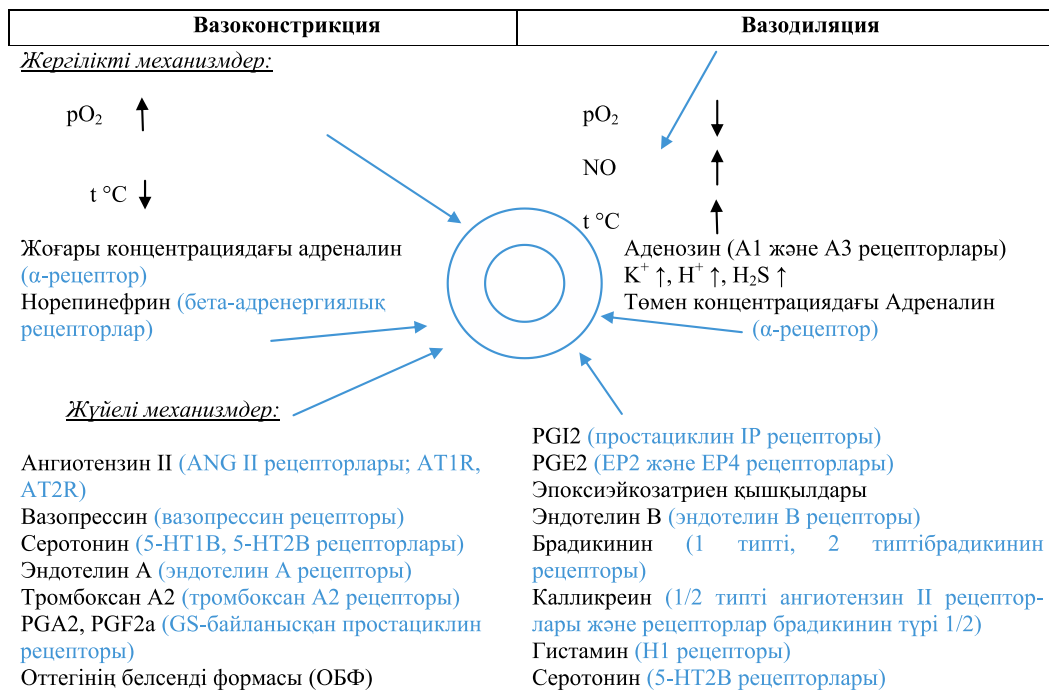
Тамырлы эндотелий — бұл қан тамырларының ішкі бетінде орналасқан құрылым [6]. Ол жұқа әрі жалпақ пішінді болып келетін жасушалар — эндотелиоциттерден құралған [7]. Тамырлы эндотелий бірқатар тіршілік үшін маңызы зор қызметтерді атқарады және көп қырлы мүше болып табылады. Shalini Jamwal & Saurabh Sharma өз зерттеулерінде тамырлы эндотелий өзінің тасымалдау және реттеу қызметтерінен басқа, метаболикалық белсенділікке ие екендігін және эндокриндік, сонымен қатар паракриндік бездер сияқты әрекет ете алатындығына дәлел келтірген [8].

Эндотелий өте сезімтал мүше, ол алғашқылардың бірі болып ағымдағы сұйықтықтың механикалық әсеріне, бұлшық ет қабаты арқылы пайда болатын қан қысымына және басқа да

көптеген сыртқы және ішкі факторларға жауап қайтарады [9]. Адам ағзасында тамырлы эндотелий қан мен тіндер арасында тосқауыл қызметін атқарады, сонымен қатар ангиогенезде маңызды рөл атқарады [10]. Мұнымен қоса, эндотелий жасушалары үлкен қорғаныс қызметін атқарады, олар қан тамырларының қабырғасын әртүрлі сыртқы факторлардың қолайсыз әсерінен қорғайды [11]. Олар бұл қорғаныс функциясын азот монооксидін (NO) өндіру арқылы іске асырады.

Эндотелий жасушаларымен (eNOS) синтезделетін NO тромбоциттер қызметін тежейді, осылайша тромбтың пайда болуына жол бермейді. Сонымен қатар, NO бөлінуінің әсерінен лейкоциттер артерия қабырғаларына еніп, қабыну үдерісін тудыра алмайды және NO синтезі тегіс бұлшық еттің пролиферациясын тежейді, оның релаксациясына септігін тигізеді [12]. Жоғарыда айтылғандарға қосымша, NO вазодилацияға ықпал етеді, яғни қан тамырлары ішіндегі кеңістікті кеңейтеді, осылайша тіндерге оттегінің жеткізілуін қамтамасыз етеді. Бұл эндотелийдің вазомоторлы функциясы деп аталады [13].

NO-дан басқа, эндотелий простаглицлин (PGI₂) және/немесе эндотелийдің гиперполяризация факторы сияқты бірқатар маңызды вазодилатациялық заттарды синтездейді [14]. Простаглицлиндер өз кезегінде қанның ұюын болдырмайды, қан тамырларын липидті түйіршіктердің (бляшкалардың) пайда болуынан қорғайды және жүрек-тамыр асқынуларының алдын алады [15]. Эндотелий жасушалары бөліп шығаратын вазоконстрикторлы факторларға эндотелин, тромбоксан A₂, 20-НЕТЕ (20-гидрооксидкозотетраен қышқылы), ангиотензин II жатады [16]. Сонымен қатар, тамырлардың кеңу (вазодилация) мен тамырлардың тарылу (вазоконстрикция) белсенділігіне әсер ететін факторлар аз емес (1 сурет). Эндотелий қызметінің бұзылуы осы факторлар арасындағы тепе-теңдіктің жоғалуына әкеледі, мұның бәрі кешенде түрде эндотелий дисфункциясының пайда болуына себеп болады.



1-сурет. Тамырлардың кеңеюіне және тарылуына себеп болатын факторлар

Эндотелиальды дисфункция

Жалпы ағзаның тұрақтылығының бұзылуына және ЭК дисфункциясына әкеп соқтыратын бірнеше ынталандырушы факторлар бар: созылмалы ауырсыну жағдайлары, 2 типті қант диабеті, семіздік, дислипидемия, темекі шегу және қан айналымының бұзылуы. ЭЖ дисфункциясының өзіне тән бес негізгі механизм анықталған. Оларға қан тамырларының тұтастығын жоғалтуы, адгезия молекулаларының белсенділігінің жоғарылауы, протромботикалық фенотип, цитокиндердің өндірісі және адам лейкоциттерінің антиген молекулаларының реттелуінің жоғарылауы жатады [17].

Белгілі болғандай, ЭЖ дисфункциясы жалғыз жүретін патологиялық жағдай емес, эндотелийдің гомеостатикалық функцияларын жоғалтуға әкелетін тамырлы тонустың, өткізгіштіктің, қабынудың

патофизиологиялық гетерогенді өзгерістерімен байланысты фенотиптердің кең спектрі екені мәлімделген [18]. Өткізгіш және резистивті артерия тамырларының эндотелиальды дисфункциясы вазомоторлық реакцияларға әсерін тигізеді [19].

Эндотелиальды дисфункция трансэндотелий ағынының реттелуінің бұзылуына себеп болады, бұл интимдегі молекулалар мен жасушалардың қалыптан тыс тұндырылуына әкеледі. Сонымен қатар, ерте атеросклерозға тән белгілер, яғни, интиманың кеңеюі және жергілікті қабыну байқалады [20].

Инсулинге резистенттілік кезіндегі эндотелий дисфункциясының механизмдері

Инсулинге резистенттілік және 2 типті қант диабеті ең көп таралған метаболикалық бұзылулардың бірі және атеросклерозды және оның мерзімінен бұрын асқынуын тездететін негізгі факторлар болып табылады [21]. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, eNOS тапшылығы бар жануарларда қант диабетіне тән инсулинге төзімділік және метаболикалық бұзылулар, оның ішінде триглицеридтер мен бос май қышқылдарының деңгейінің жоғарылауымен сипатталатын митохондриялық дисфункция сияқты белгілер пайда болған [22].

Семіздік, дислипидемия, гипертония және глюкоза алмасуының бұзылуы сияқты метаболикалық синдромдардың жиынтығы эндотелиальды дисфункциямен де, жүрек-тамыр аурулары және 2 типті қант диабеті қаупінің жоғарылауымен де байланысты болып келеді [23].

Кең мағынада инсулинге резистенттілік — бұл инсулинге тәуелді әртүрлі тіндердегі, соның ішінде гепатоциттер, миоциттер, май тіндері және эндотелийдегі инсулиннің метаболикалық әсеріне сезімталдықтың төмендеуі [24]. Инсулинге резистенттілік эндотелий дисфункциясының бірқатар күрделі және өзара байланысты патофизиологиялық механизмдерімен сипатталады [25]. Осы механизмдердің бірі eNOS-ті іске қосуды реттейтін сигналдық жолдарды өзгерту болып табылады [26].

Инсулинге резистенттілік эндотелий жасушаларында және басқа жасуша түрлерінде PI-3 киназа/Akt сигналдарының селективті бұзылуымен сипатталады [27]. Инсулинге резистенттілік кезінде PI-3 киназасы/Akt арқылы eNOS активтенуі инсулинге жауап ретінде ғана емес, сонымен қатар сұйықтықтың ығысу кернеуі сияқты басқа да физиологиялық ынталандыруларға жауап ретінде де бұзылатынын атап өткен жөн, сонымен бірге инсулиннің қолайсыз вазоконстрикторлы, протромботикалық және қабынуға қарсы әсерлері шектелмеген болып қалады, бұл тамырлы аурулардың дамуына ықпал етуі мүмкін [28].

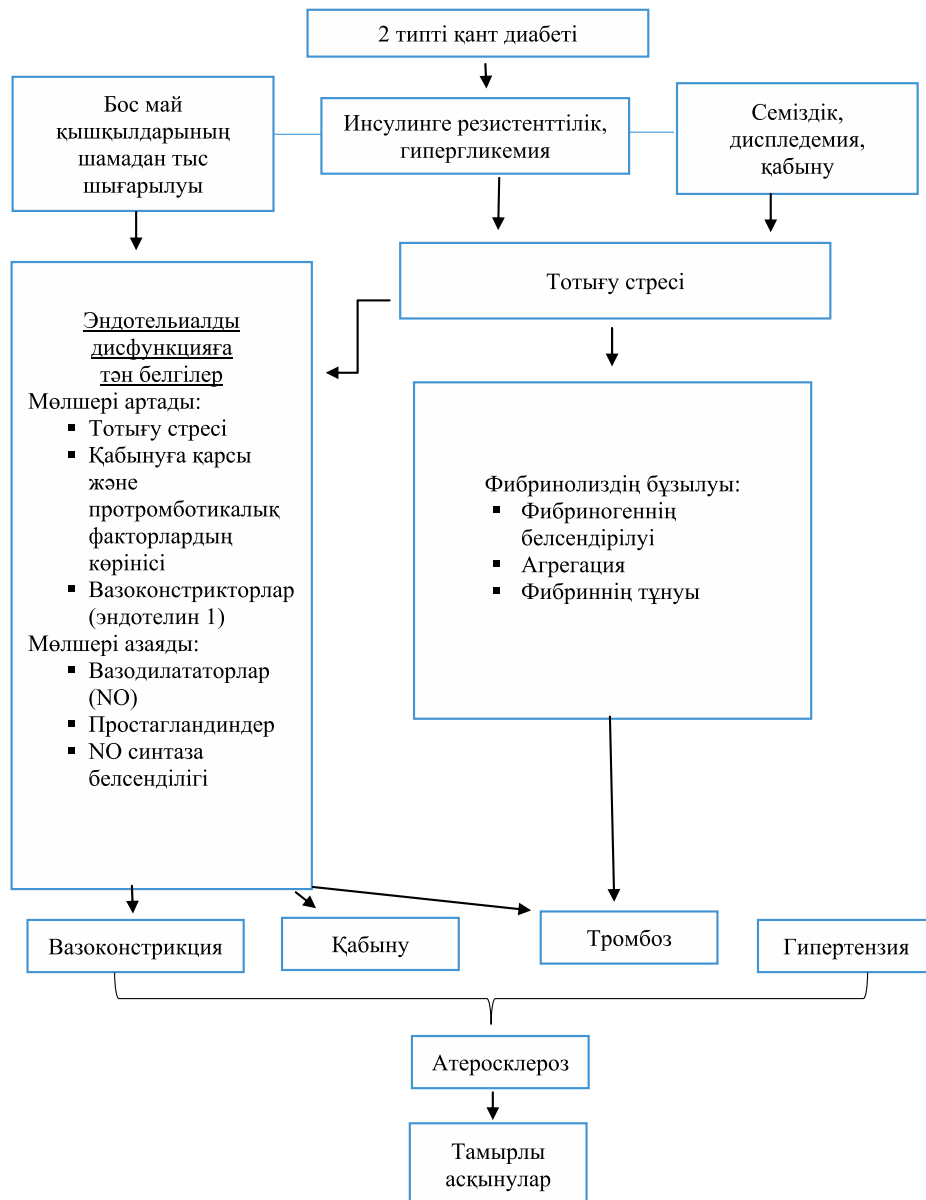
Тотығу стресі және қабыну инсулинге резистенттілік кезіндегі эндотелий дисфункциясының маңызды механизмдері болып табылады. Эндотелий жасушаларына гипергликемияның, висцеральды май тінінен босатылған май қышқылдарының, ангиотензин II және гликирленудің соңғы өнімдерінің әсер етуі супероксидтің және ОБФ-ның басқа белсенді формаларының пайда болуына әкеледі [29].

Оттегінің белсенді формалары NO-мен өзара әрекеттесе отырып, пероксинитрит түзеді, ол липидтер, ақуыздар және ДНҚ-ны қоса алғанда әртүрлі жасушалық компоненттерге зиянды әсер ететін улы қосылыс болып табылады [30]. Пероксинитрит сонымен қатар, eNOS белсенділігін тежейді және қан тамырларының тегіс бұлшық етті жасушаларының NO-ға сезімталдығын төмендетеді [31]. Тетрагидробиоптериннің тотығуы (eNOS үшін негізгі кофактор) eNOS-тің синтезіне әкеледі және оның ОБФ генераторына айналуына жағдай жасайды. Бұл тотығу стресінің күшеюін ынталандырады, ал ОБФ деңгейінің жоғарылауы эндотелий дисфункциясы мен апоптозды тудырады, қабынуға ықпал етеді және қан тамырларының тегіс бұлшық етті жасушаларының пролиферациясын белсендіреді [32].

Цитокиндер, атап айтқанда, α ісік некрозының факторы, эндотелин-1 өндірісін және NF- κ B экспрессиясын жоғарылату арқылы eNOS белсенділігін төмендететіні анықталған [33]. NF- κ B ядролық факторы — эндотелий жасушаларының фенотипін қабынуға қарсы және протромботикалық түрге айналдыруда маңызды рөл атқаратын ген экспрессиясының негізгі реттегіші болып табылады [34]. Бір қызығы, NF- κ B активтенуі инсулинге бұрыннан қалыптасқан резистенттілікті одан әрі күшейтуі мүмкін [35].

Гипергликемия NADPH-оксидазаның және ОБФ түзілуіне жауапты басқа да ферменттердің белсенділігін арттырады [36]. Сонымен қатар, созылмалы гипергликемия жасушалық рецепторлармен өзара әрекеттесетін қанттардың, липидтердің және ақуыздардың қайтымсыз өзара байланысқан гетерогенді туындыларының, соның ішінде ең көп зерттелгені, гликирленудің соңғы өнімдерінің пайда болуына әкеледі [37].

Көптеген жағдайларда инсулинге резистенттілік семіздікпен және липопротеин метаболизмінің протерогенді бұзылуымен сипатталады (2 сурет) [38].



2-сурет. 2 типті қант диабетімен қатар жүретін тамырлы асқынулардың даму механизмі

Тотығу стресі және диабеттен болатын асқынулар

Тотығу стресі инсулинге резистенттіліктің дамуында және қант диабетінің микро және макро-тамырлы асқынуларында маңызды рөл атқарады [39]. Сонымен қатар, диабеттің пайда болуы жасуша компоненттерінің деградациясына қатысатын жасушалық аутофагияның бұзылуымен де байланысты болып келеді [40]. Аутофагия және тотығу стресі бір-бірімен тығыз байланысты, өйткені аутофагия ОБФ түзілетін орындардың, яғни, митохондрия сияқты органеллалардың деградациясына жауап береді [41]. Аутофагияның бұзылуы іс жүзінде дисфункционалды митохондриялардың жинақталуын тудырады, бұл ОБФ өндірісінің ұлғаюына әкеледі. Демек, қант диабетімен байланысты аутофагияның бұзылуы ОБФ мөлшерін жоғарылатуда негізгі рөл атқарады [42].

Диабеттік жағдайларда, шын мәнінде, үлкен және кіші тамырлардың эндотелий жасушаларында, сондай-ақ миокардта митохондриялық супероксидтің шамадан тыс көбеюі байқалады [43]. Супероксид өндірісі қант диабетінің асқынуларының патогенезіне қатысатын бес негізгі жолды белсендіруге жауап береді: полиол жолының ағымы, гликирленудің соңғы өнімдерінің түзілуі,

олардың рецепторларының және оны белсендіруші лигандтардың жоғарылауы, протеинкиназа сизоформаларының активтенуі және гексозамин жолының гиперактивтілігі [44]. Осы жолдар арқылы жасушаішілік ОБФ-ның ұлғаюы ишемияға жауап ретінде ангиогенездің бұзылуын тудырады, бірқатар қабынуға қарсы жолдарды белсендіреді және ұзақ эпигенетикалық өзгерістерді тудырады [45].

2 типті қант диабеті кезіндегі атеросклероз және кардиомиопатия ішінара инсулинге селективті резистенттіліктен туындайды, бұл бос май қышқылдарынан митохондриялық ОБФ-ның өндірілуін арттырады [46]. Шынында да, қант диабеті бар трансгенді егеуқұйрықтарға жүргізілген зерттеулер супероксидті дисмутазааның шамадан тыс экспрессиясы диабеттік ретинопатия, нефропатия және кардиомиопатияның алдын алатындығын көрсеткен [47]. Инсулинге резистенттілікті қалыптастыруда Nrf2 факторымен байланысты NF-E2 транскрипцияның тотығу факторы маңызды рөл атқарады [48].

Диабеттік ретинопатия бүкіләлемдегі еңбекке қабілетті жастағы ересектер мен қарт адамдар арасында диабетпен байланысты асқынулардың немесе көру қабілетінің жоғалуының негізгі себебі болып табылады [49]. ОБФ шамадан тыс жинақталуы митохондрияның дисфункциясына, жасушалық апоптозға, қабынуға, липидтердің асқын тотығуына, сондай-ақ көздің торлы қабығындағы құрылымдық және функционалдық өзгерістерге әкеледі. Диабеттік ретинопатияның дамуына әкеп соқтыратын тотығу стресімен байланысты механизмдер күрделі болып табылады [50]. Торлы қабықтың тотығу стресіне сезімтал болып келуі тек қана жарық немесе ультрафиолет сәулелерінің тұрақты әсеріне ғана байланысты емес, сонымен қатар торлы фоторецепторлардың сыртқы сегменттерінің мембраналарында оңай тотығатын поликанықпаған май қышқылдарының көптеп кездесуіне байланысты [51]. Адам көзінің торлы қабығында фоторецепторлардың сыртқы сегменттерінде орналасқан негізгі поликанықпаған май қышқылдары құрамында докозагексаен қышқылы, арахидон қышқылы және олеин қышқылы болады және осы үш ПМҚ сәйкесінше май қышқылдарының жалпы мөлшерінің шамамен 50 %, 8 % және 10 % құрайды [52]. Демек, ОБФ өндірісін тежеу торлы қабықты гипергликемия әсерінен туындайтын тотығу стресінен қорғайды.

Көптеген дәлелдер гипергликемия тотығу стресінің жоғарылауына әкелетінін дәлелдейді, бұл өз кезегінде, эндотелий, тор, мезангиальды және жүйке жасушаларына зақым келтіру арқылы диабеттік нейропатияның дамуында маңызды рөл атқарады [53]. Митохондриядағы глюкозаның тотығуының бұзылуы қант диабеті кезінде ОБФ түзілуінің негізгі көзі болып табылады деп саналады [54]. Алайда, диабеттік жағдайда глюкоза метаболизмінің бұзылуы глюкозаны немесе аралық гликолиз өнімдерін басқа метаболиткалық және метаболиткалық емес жолдарға ауыстырады, нәтижесінде митохондрияға протондардың митохондрияға оралу жылдамдығы жоғарылап, АТФ түзілуі тежеледі [55]. Аксондар жүйкелерді қанмен тікелей қамтамасыз ете алатын митохондрияға бай болып келеді [56]. Нейронның артық ОБФ-ын детоксикациялай алмауы, АТФ-тің жеткіліксіз өндірілуімен қатар, аксондарды гипергликемия кезінде АФК-мен туындаған зақымға сезімтал етеді, бұл өз кезегінде аксондардың дегенерацияға ұшырауын тездетеді [57]. Тотығу стресінің нәтижесінде эндотелий жасушаларының өзгеруі және NO өндірісі төмендейді, бұл көптеген метаболиткалық бұзылыстарды, соның ішінде қант диабетінің түрлі асқынуларын тудырады [58].

Қорытынды

Қорытындылай келе, біздің шолуымызда қант диабеті асқынуларына, эндотелиальды дисфункцияның пайда болу механизміне және олардың өзара байланысына арналған 50-ден астам әдебиеттер талданды. Осылайша, қант диабеті кезіндегі эндотелий дисфункциясының патогенезі көп компонентті екендігі және оның аспектілерін жан-жақты нақтылау қажеттігі анықталды. Әдебиеттерді талдау қант диабетінде глюкозаны утилиздеу жолдарының патологиялық белсендірілуі эндотелий жасушаларына зақым келтіреді, бұл олардың барлық негізгі функцияларының бұзылуымен бірге жүреді деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Қант диабетіндегі метаболиткалық бұзылулар эндотелиоциттердің тотығу стресімен бірге жүретін еркін радикалды үдерістер мен антиоксиданттық қорғаныстың айқын теңгерімсіздігін тудырады, бұл эндотелий дисфункциясының және тамырлы асқынулардың дамуына ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Monje, A., Catena, A., & Borgnakke, W. S. (2017). Association between diabetes mellitus/hyperglycaemia and peri-implant diseases: Systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol.*, 44 (6); 636–648. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12724>
- 2 Banerjee, I., Salomon-Estebanez, M., Shah, P., Nicholson, J., Cosgrove, K.E., & Dunne, M.J. (2019). Therapies and outcomes of congenital hyperinsulinism-induced hypoglycaemia. *Diabet Med.*, 36 (1); 9–21. <https://doi.org/10.1111/dme.13823>
- 3 Pourhanifeh, M.H., Hosseinzadeh, A., Dehdashtian, E., Hemati, K., & Mehrzadi, S. (2020). Melatonin: new insights on its therapeutic properties in diabetic complications. *Diabetol Metab Syndr.*, 12 (30). <https://doi.org/10.1186/s13098-020-00537-z>
- 4 Cole, J.B., & Florez, J.C. (2020). Genetics of diabetes mellitus and diabetes complications. *Nat Rev Nephrol.*, 16 (7); 377–390. <https://doi.org/10.1038/s41581-020-0278-5>
- 5 Shi, Y., & Vanhoutte, P.M. (2017). Macro- and microvascular endothelial dysfunction in diabetes. *J Diabetes.*, 9 (5); 434–449. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.12521>
- 6 Krüger-Genge, A., Blocki, A., Franke, R.P., & Jung, F. (2019). Vascular Endothelial Cell Biology: An Update. *Int J Mol Sci.*, 20 (18); 4411. <https://doi.org/10.3390/ijms20184411>
- 7 Eelen, G., de Zeeuw, P., & Treps, L. (2019). Endothelial Cell Metabolism. *Physiol Rev.*, 98 (1); 3–58. <https://doi.org/10.1152/physrev.00001.2017>
- 8 Jamwal, S., & Sharma, S. (2018). Vascular endothelium dysfunction: a conservative target in metabolic disorders. *Inflamm Res.*, 67(5); 391–405. <https://doi.org/10.1007/s00011-018-1129-8>
- 9 Dalal, P.J., Muller, W.A., & Sullivan, D.P. (2020). Endothelial Cell Calcium Signaling during Barrier Function and Inflammation. *Am J Pathol.*, 190 (3); 535–542. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2019.11.004>
- 10 Paone, S., Baxter, A.A., Hulett, M.D., & Poon, I. (2019). Endothelial cell apoptosis and the role of endothelial cell-derived extracellular vesicles in the progression of atherosclerosis. *Cell. Mol. Life Sci.*, 76 (6); 1093–1106. <https://doi.org/10.1007/s00018-018-2983-9>
- 11 Zein, S., Rachidi, S., & Hininger-Favier, I. (2014). Is oxidative stress induced by iron status associated with gestational diabetes mellitus? *J Trace Elem Med Biol.*, 28 (1); 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.09.009>
- 12 Cyr, A.R., Huckaby, L.V., Shiva, S.S., & Zuckerbraun, B.S. (2020). Nitric Oxide and Endothelial Dysfunction. *Crit Care Clin.*, 36 (2); 307–321. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2019.12.009>
- 13 Kluge, M.A., Fetterman, J.L., & Vita, J.A. (2013). Mitochondria and endothelial function. *Circ Res.*, 112 (8); 1171–1188. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.111.300233>
- 14 Alexander, Y., Osto, E., Schmidt-Trucksäss, A., et al. (2021). Endothelial function in cardiovascular medicine: a consensus paper of the European Society of Cardiology Working Groups on Atherosclerosis and Vascular Biology, Aorta and Peripheral Vascular Diseases, Coronary Pathophysiology and Microcirculation, and Thrombosis. *Cardiovasc Res.*, 117 (1); 29–42. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa085>
- 15 Joffre, J., Hellman, J., Ince, C., & Ait-Oufella, H. (2020). Endothelial Responses in Sepsis. *Am J Respir Crit Care Med.*, 202 (3); 361–370. <https://doi.org/10.1164/rccm.201910-1911TR>
- 16 Go, E., & Yoder, M.C. (2021). Identification of Endothelial Cells and Their Progenitors. *Methods Mol Biol.*, 2206; 27–37. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0916-3_3
- 17 Hlatky, M.A., Greenland, P., Arnett, D.K., Ballantyne, C.M., Criqui, M.H., Elkind, M.S., Go, A.S., Harrell, F.E., Jr, Hong, Y., Howard, B.V., Howard, V.J., Hsue, P.Y., Kramer, C.M., McConnell, J.P., Normand, S.L., O'Donnell, C.J., Smith, S.C., Jr, Wilson, P.W., & American Heart Association Expert Panel on Subclinical Atherosclerotic Diseases and Emerging Risk Factors and the Stroke Council (2009). Criteria for evaluation of novel markers of cardiovascular risk: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 119(17), 2408–2416.
- 18 Premer, C., Kanelidis, A.J., Hare, J.M., & Schulman, I.H. (2019). Rethinking Endothelial Dysfunction as a Crucial Target in Fighting Heart Failure. *Mayo Clin Procnov Qual Outcomes.*, 3 (1); 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2018.12.006>
- 19 Norata, G.D., Grigore, L., Raselli, S., Radaelli, L., Hamsten, A., Maggi, F., Eriksson, P., & Catapano, A.L. (2007). Postprandial endothelial dysfunction in hypertriglyceridemic subjects: molecular mechanisms and gene expression studies. *Atherosclerosis.*, 193; 321–327.
- 20 Mundi, S., Massaro, M., Scoditti, E., Carluccio, M.A., van Hinsbergh, V., Iruela-Arispe, M.L., & De Caterina, R. (2018). Endothelial permeability, LDL deposition, and cardiovascular risk factors—a review. *Cardiovasc Res.*, 114; 35–52.
- 21 Gluvic, Z., Zaric, B., Resanovic, I., Obradovic, M., Mitrovic, A., Radak, D.J., & Isenovic, E.R. (2017). Link between Metabolic Syndrome and Insulin Resistance. *Curr Vasc Pharmacol.*, 15 (1); 30–39. <https://doi.org/10.2174/1570161114666161007164510>
- 22 Wang, Y., Yu, Q., & Chen, Y. (2013). Pathophysiology and therapeutics of cardiovascular disease in metabolic syndrome. *Curr Pharm Des.*, 19 (27); 4799–4805. <https://doi.org/10.2174/1381612811319270002>
- 23 Yunusova, N.V., Dandarova, E.E., Denisov, N.S., Kostromitsky, D.N., Patysheva, M.R., Cheremisina, O.V., & Spirina, L.V. (2021). Production and internalization of extracellular vesicles in normal and under conditions of hyperglycemia and insulin resistance. *Biomed Khim.*, 67 (6); 465–474. <https://doi.org/10.18097/PBMC20216706465>
- 24 Grandl, G., & Wolfrum, C. (2018). Hemostasis, endothelial stress, inflammation, and the metabolic syndrome. *Semin Immunopathol.*, 40 (2); 215–224. <https://doi.org/10.1007/s00281-017-0666-5>

- 25 Guerrero-Oriach, J.L., Escalona Belmonte, J.J., Ramirez Fernandez, A., Ramirez Aliaga, M., Rubio Navarro, M., & Cruz Manas, J. (2017). Cardioprotection with halogenated gases: how does it occur? *Drug Des Devel Ther.*, 16 (11); 837–849. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S127916>
- 26 Chen, G., Xu, C., Gillette, T.G., Huang, T., Huang, P., Li, Q., Li, X., Li, Q., Ning, Y., Tang, R., Huang, C., Xiong, Y., Tian, X., Xu, J., Xu, J., Chang, L., Wei, C., Jin, C., Hill, J.A., & Yang, Y. (2020). Cardiomyocyte-derived small extracellular vesicles can signal eNOS activation in cardiac microvascular endothelial cells to protect against Ischemia/Reperfusion injury. *Theranostics.*, 10 (25); 11754–11774. <https://doi.org/10.7150/thno.43163>
- 27 Guo, Q., Li, H., Xu, L., Wu, Sh., Sun, H., & Zhou, B. (2017). Undercarboxylated osteocalcin reverts insulin resistance induced by endoplasmic reticulum stress in human umbilical vein endothelial cells. *Sci Rep.*, 7 (1); 46. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00163-2>
- 28 Poblete-Aro, C., Russell-Guzmán, J., Parra, P., Soto-Muñoz, M., Villegas-González, B., Cofré-Bolados, C., Herrera-Valenzuela, T. (2017). Exercise and oxidative stress in type 2 diabetes mellitus. *Rev Med Chil.*, 146 (3); 362–372. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872018000300362>
- 29 Gerber, P.A., & Rutter, G.A. (2017). The Role of Oxidative Stress and Hypoxia in Pancreatic Beta-Cell Dysfunction in Diabetes Mellitus. *Antioxid Redox Signal.*, 26 (10); 501–518. <https://doi.org/10.1089/ars.2016.6755>
- 30 Zorov, D.B., Juhaszova, M., & Sollott, S. (2014). Mitochondrial reactive oxygen species (ROS) and ROS-induced ROS release. *Physiol Rev.*, 94 (3); 909–950. <https://doi.org/10.1152/physrev.00026.2013>
- 31 Radulović, S., Gottschalk, B., Hörl, G., Zardoya-Laguardia, P., Schilcher, I., Hallström, S., Vujić, N., Schmidt, K., Trieb, M., Graier, W.F., Malli, R., Kratky, D., Marsche, G., & Frank, S. (2020). Endothelial lipase increases eNOS activating capacity of high-density lipoprotein. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids*, 1865 (4); 158612. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158612>
- 32 Incalza, M.A., D'Oria, R., Natalicchio, A., Perrini, S., Laviola, L., & Giorgino, F. (2018). Oxidative stress and reactive oxygen species in endothelial dysfunction associated with cardiovascular and metabolic diseases. *Vascul Pharmacol.*, 100; 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2017.05.005>
- 33 Engin, A. (2017). Endothelial Dysfunction in Obesity. *Adv Exp Med Biol.*, 960; 345–379. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_15
- 34 Thoma, A., & Lightfoot, A.P. (2018). NF- κ B and Inflammatory Cytokine Signalling: Role in Skeletal Muscle Atrophy. *Adv Exp Med Biol.*, 1088; 267–279. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1435-3_12
- 35 Liang, W.J., Yang, H.W., & Liu, H.N. (2020). HMGB1 upregulates NF- κ B by inhibiting I κ B- α and associates with diabetic retinopathy. *Life Sci.*, 241; 117146. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.117146>
- 36 Volpe, C.M.O., Villar-Delfino, P.H., Dos Anjos, P.M.F., & Nogueira-Machado, J.A. (2018). Cellular death, reactive oxygen species (ROS) and diabetic complications. *Cell Death Dis.*, 9 (2); 119. <https://doi.org/10.1038/s41419-017-0135-z>
- 37 Papachristoforou, E., Lambadiari, V., Maratou, E., & Makrilakis, K. (2020). Association of Glycemic Indices (Hyperglycemia, Glucose Variability, and Hypoglycemia) with Oxidative Stress and Diabetic Complications. *J Diabetes Res.*, 2020; 7489795. <https://doi.org/10.1155/2020/7489795>
- 38 Barazzon, R., Gortan Cappellari, G., Ragni, M., & Nisoli, E. (2018). Insulin resistance in obesity: an overview of fundamental alterations. *Eat Weight Disord.*, 23 (2); 149–157. <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0481-6>
- 39 Yaribeygi, H., Sathyapalan, T., Atkin, S.L., & Sahebkar, A. (2020). Molecular Mechanisms Linking Oxidative Stress and Diabetes Mellitus. *Oxid Med Cell Longev.*, 2020; 8609213. <https://doi.org/10.1155/2020/8609213>
- 40 Muriach, M., Flores-Bellver, M., Romero, F.J., & Barcia, J.M. (2014). Diabetes and the brain: oxidative stress, inflammation, and autophagy. *Oxid Med Cell Longev.*, 2014; 102158. <https://doi.org/10.1155/2014/102158>
- 41 El-Refaei, M.F., Abduljawad, S.H., & Alghamdi, A.H. (2014). Alternative Medicine in Diabetes - Role of Angiogenesis, Oxidative Stress, and Chronic Inflammation. *Rev Diabet Stud.*, 11 (3–4); 231–244. <https://doi.org/10.1900/RDS.2014.11.231>
- 42 Rovira-Llopis, S., Bañuls, C., Diaz-Morales, N., Hernandez-Mijares, A., Rocha, M., & Victor, V.M. (2017). Mitochondrial dynamics in type 2 diabetes: Pathophysiological implications. *Redox Biol.*, 11; 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2017.01.013>
- 43 Sun, J., Huang, X., Niu, C., Wang, X., Li, W., Liu, M., Wang, Y., Huang, S., Chen, X., Li, X., Wang, Y., Jin, L., Xiao, J., & Cong, W. (2021). aFGF alleviates diabetic endothelial dysfunction by decreasing oxidative stress via Wnt/ β -catenin-mediated upregulation of HXK2. *Redox Biol.*, 39; 101811. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101811>
- 44 Moldogazieva, N.T., Mokhosoev, I.M., Mel'nikova, T.I., Porozov, Y.B., & Terentiev, A.A. (2019). Oxidative Stress and Advanced Lipoxidation and Glycation End Products (ALEs and AGEs) in Aging and Age-Related Diseases. *Oxid Med Cell Longev.*, 2019; 3085756. <https://doi.org/10.1155/2019/3085756>
- 45 Krylatov, A.V., Maslov, L.N., Voronkov, N.S., Boshchenko, A.A., Popov, S.V., Gomez, L., Wang, H., Jaggi, A.S., & Downey, J.M. (2018). Reactive Oxygen Species as Intracellular Signaling Molecules in the Cardiovascular System. *Curr Cardiol Rev.*, 14 (4); 290–300. <https://doi.org/10.2174/1573403X14666180702152436>
- 46 Haas, A.V., & McDonnell, M.E. (2018). Pathogenesis of Cardiovascular Disease in Diabetes. *Endocrinol Metab Clin North Am.*, 47 (1); 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2017.10.010>
- 47 Giacco, F., & Brownlee, M. (2010). Oxidative stress and diabetic complications. *Circ Res.*, 107 (9); 1058–1070. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.223545>
- 48 Wang, X., Chen, H., Liu, J., Ouyang, Y., Wang, D., Bao, W., & Liu, L. (2015). Association between the NF-E2 Related Factor 2 Gene Polymorphism and Oxidative Stress, Anti-Oxidative Status, and Newly-Diagnosed Type 2 Diabetes Mellitus in a Chinese Population. *Int J Mol Sci.*, 16 (7); 16483–16496. <https://doi.org/10.3390/ijms160716483>

- 49 Moreno, A., Lozano, M., & Salinas, P. (2013). Diabetic retinopathy. *Nutr Hosp.*, 28, 2; 53–56. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.sup2.6714>
- 50 Hammes, H.P. (2018). Diabetic retinopathy: hyperglycaemia, oxidative stress and beyond. *Diabetologia*, 61 (1); 29–38. <https://doi.org/10.1007/s00125-017-4435-8>
- 51 Brown, E.E., DeWeerd, A.J., Ildefonso, C.J., Lewin, A.S., & Ash, J.D. (2019). Mitochondrial oxidative stress in the retinal pigment epithelium (RPE) led to metabolic dysfunction in both the RPE and retinal photoreceptors. *Redox Biol.*, 24; 101201. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101201>
- 52 Simón, M.V., Agnolazza, D.L., German, O.L., Garelli, A., Politi, L., Agbaga, M.P., Anderson, R.E., & Rotstein, N.P. (2016). Synthesis of docosahexaenoic acid from eicosapentaenoic acid in retina neurons protects photoreceptors from oxidative stress. *J Neurochem.*, 136 (5); 931–946. <https://doi.org/10.1111/jnc.13487>
- 53 Sztanek, F., Molnár, A., & Balogh, Z. (2016). The role of oxidative stress in the development of diabetic neuropathy. *Orv Hetil.*, 157 (49); 1939–1946. <https://doi.org/10.1556/650.2016.30609>
- 54 Wada, J., & Nakatsuka, A. (2016). Mitochondrial Dynamics and Mitochondrial Dysfunction in Diabetes. *Acta Med Okayama.*, 70 (3); 151–158. <https://doi.org/10.18926/AMO/54413>
- 55 Rendra, E., Riabov, V., Mossel, D.M., Sevastyanova, T., Harmsen, M.C., & Kzhyshkowska, J. (2019). Reactive oxygen species (ROS) in macrophage activation and function in diabetes. *Immunobiology*, 224 (2); 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.imbio.2018.11.010>
- 56 Volpe, C.M.O., Villar-Delfino, P.H., Dos Anjos, P.M.F., & Nogueira-Machado, J.A. (2018). Cellular death, reactive oxygen species (ROS) and diabetic complications. *Cell Death Dis.*, 9 (2); 119. <https://doi.org/10.1038/s41419-017-0135-z>
- 57 Sandireddy, R., Yerra, V.G., Areti, A., Komirishetty, P., & Kumar, A. (2014). Neuroinflammation and oxidative stress in diabetic neuropathy: futuristic strategies based on these targets. *Int J Endocrinol.*, 674987. <https://doi.org/10.1155/2014/674987>
- 58 Petrie, J.R., Guzik, T.J., & Touyz, R.M. (2018). Hypertension, and Cardiovascular Disease: Clinical Insights and Vascular Mechanisms. *Can J Cardiol.*, 34 (5); 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2017.12.005>

А.А. Дүйсенбек*, Н.Т. Аблайханова, А.Т. Қалдықараева, А.Е. Есенбекова,
Б. Мухитдин, З.Б. Есимсиитова, Л. Қожамжарова

Сосудистые осложнения, связанные с эндотелиальной дисфункцией, у пациентов с сахарным диабетом 2 типа

В статье проанализировано более 50 источников литературы, посвященных сахарному диабету и его осложнениям, механизму возникновения эндотелиальной дисфункции и их взаимосвязи. Диабет 2 типа является хроническим заболеванием, которое значительно увеличивает риск сердечно-сосудистых осложнений. Эндотелиальная дисфункция рассматривается как ранний показатель диагностики диабетических сосудистых осложнений. Хотя точные патогенетические механизмы ЭД при сахарном диабете до сих пор неясны, на начальном этапе выяснилось, что они запускают синтез оксида азота, окислительное фосфорилирование митохондрий и другие процессы. Последующими основными факторами, влияющими на активацию данного процесса, являются дислипидемия, окислительный стресс и воспаление. Авторами рассмотрены современные литературные данные о гипергликемии, окислительном стрессе, конечных продуктах гликирования при изменении эндотелия. Отдельный раздел посвящен окислительному стрессу и их значению в развитии эндотелиальной дисфункции при сахарном диабете. Кроме того, в данном обзоре особое внимание уделено основным механизмам, участвующим в возникновении эндотелиальной дисфункции, выработке в больших количествах активных форм кислорода (АФК), воспалению, а также их взаимосвязи с основными факторами сердечно-сосудистого риска.

Ключевые слова: сахарный диабет 2 типа, дисфункция эндотелия, окислительный стресс, метаболические повреждения, диабетические осложнения.

A.A. Duisenbek, N.T. Ablaihanova, A.T. Kaldykarayeva,
A.E. Yessenbekova, B. Mukhitdin, Z.B. Yessimsiitova, L. Kozhamzharova

Vascular complications in combination with endothelial dysfunction in patients with type 2 diabetes

This article presents information on diabetes mellitus and its complications and its relationship with the mechanism of endothelial dysfunction based on previous studies. Type 2 diabetes is a chronic disease that significantly increases the risk of cardiovascular complications. Endothelial dysfunction is considered an early indicator of the diagnosis of diabetic vascular complications. Although the exact pathogenetic

mechanisms of ED in diabetes mellitus are still unclear, at the initial stage it turned out that they trigger the synthesis of nitric oxide, oxidative phosphorylation of mitochondria, and other processes. The subsequent main factors influencing the activation of this process are dyslipidemia, oxidative processes, and inflammation. The paper considers current literature data on hyperglycemia, oxidative stress, and glycation end products with endothelial changes. A separate section is devoted to oxidative stress and their significance in the development of endothelial dysfunction in diabetes mellitus. In addition, in this review, special attention is paid to the main mechanisms involved in the occurrence of endothelial dysfunction, the production of large amounts of reactive oxygen species (ROS), inflammation, as well as their relationship with the main factors of cardiovascular risk.

Keywords: type 2 diabetes mellitus, endothelial dysfunction, oxidative stress, metabolic damage, diabetic complications.

А.М. Зияшева*, Г.К. Датхабаева

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*Автор для корреспонденции: ziyasheva.ayzada@gmail.com

Оценка потенциала нейробиоуправления для терапии ожирения по данным литературы

В статье дана оценка перспектив применения технологии саморегуляции функционального состояния мозга с опорой на биологическую обратную связь по параметрам ЭЭГ (ЭЭГ-биоуправление/нейробиоуправление) при лечении ожирения — хронического заболевания, распространенность которого приобрела масштабы мировой эпидемии, являющегося весомым фактором риска таких социально-значимых заболеваний, как болезни системы кровообращения, определённые виды рака, диабет второго типа, а также целого ряда других хронических неинфекционных и инфекционных заболеваний, включая тяжелое течение COVID-19 и его осложнения, и требующего длительной комплексной терапии. Рассмотрена сущность технологии биоуправления на основе биологической обратной связи (БОС), которая заключается в тренировке способности субъекта сознательно управлять определенными физиологическими параметрами своего организма для приведения их значений к оптимальным показателям, соответствующим здоровому функционированию организма в целях улучшения здоровья и работоспособности. Развитие способности к саморегуляции при помощи БОС происходит с опорой на показатели точных приборов, измеряющих тренируемые физиологические параметры, такие как показатели мозговой активности, сердечной деятельности, дыхания, мышечной активности и температуры кожи. Авторами приведено нейробиологическое обоснование целесообразности и эффективности ЭЭГ-биоуправления в терапии ожирения, освещаются применявшиеся протоколы БОС-терапии ожирения и ассоциированных с ним нарушений пищевого поведения, благодаря которым удается путем нейромодуляции оптимизировать паттерны мозговой активности, восстанавливая нейродинамический баланс регуляторных систем, и самостоятельно приводить себя в устойчивое состояние спокойного бодрствования и психологического комфорта, не прибегая для этого к нездоровой пище.

Ключевые слова: ожирение, нейробиоуправление, биологическая обратная связь, пищевое поведение, пищевые аддикции, саморегуляция, ритмы ЭЭГ, нейромодуляция.

Введение

Ожирение является весомым фактором риска таких социально-значимых заболеваний, как болезни системы кровообращения, определённые виды рака и диабет второго типа, а также целого ряда других хронических неинфекционных и инфекционных заболеваний [1], включая тяжелое течение COVID-19 и его осложнения [2]. При этом проблема избыточной массы тела и ожирения приобрела угрожающие масштабы эпидемии во всем мире [3], включая Казахстан. По данным последних национальных исследований, в Казахстане 54 % мужчин и 53 % женщин страдают избыточной массой тела и ожирением [4]. В связи с высокой распространенностью ожирения и серьёзностью его последствий для жизни и здоровья населения, ВОЗ провозгласила задачу решения проблемы ожирения неотложной задачей общественного здравоохранения [5].

Ожирение как хроническое заболевание характеризуется глубокими нарушениями обмена веществ, связанными с патологически излишним накоплением жира в жировых депо организма. По критериям ВОЗ избыточная масса тела и ожирение идентифицируются на основании значений такого антропометрического показателя, как индекс массы тела (ИМТ), который вычисляется по формуле: отношение массы тела в килограммах к квадрату роста в метрах. Значения ИМТ от 25 до 29,5 кг/м² расцениваются как избыточная масса тела (предожирение), а от 30 кг/м² и выше — как ожирение.

Многочисленные исследования свидетельствуют, что развитие ожирения детерминировано множеством взаимодействующих факторов, в числе которых психологические [6], социальные [7], поведенческие и биологические [8, 9], в совокупности обуславливающие возникновение хронического положительного баланса энергии в организме, когда количество энергии, потребляемой с пищей, превосходит количество энергии, расходуемой в процессе жизнедеятельности индивидуума. В свою очередь, положительный баланс энергии является результатом переизбытка, с одной стороны, и снижения расхода энергии вследствие пониженной физической активности — с другой [10]. При этом к

избыточному потреблению пищевых калорий может приводить нарушение структуры питания за счет вытеснения из рациона низкокалорийных натуральных цельных продуктов с высокой биологической ценностью (свежие овощи и фрукты, нешлифованные крупы) продуктами высокой технологической переработки, отличающимися высокой энергетической плотностью при низкой биологической ценности (кондитерские изделия, напитки с большим содержанием добавленного сахара, соли и жира) [11].

Сегодня многие исследователи разделяют представление о двух доменах в пищевом поведении. Первый домен объединяет характеристики пищевого поведения, называемые «поведение–приближение к пище», второй — обозначенные как «поведение–избегание пищи». К домену поведения–приближения относятся такие характеристики, как чувствительность индивида к пищевым раздражителям (запах и вкус еды), а также то, в какой степени пища служит для человека источником положительных эмоций или средством само-вознаграждения/само-поощрения или утешения (эмоциогенное переедание, «заедание» отрицательных эмоций). Домен поведение-избегание пищи включает такие характеристики, как чувствительность индивида к сигналам сытости (чувство насыщения), а также насколько отрицательные эмоции влияют на пищевое поведение в плане придирчивости к еде, замедленного поглощения пищи и снижения аппетита при негативных эмоциональных состояниях [12]. При этом выраженность поведения-приближения к пище ассоциирована с избыточной массой тела, тогда как поведение-избегание пищи, напротив, имеет отрицательную корреляцию с массой тела и ИМТ [13, 14]. В частности, у людей с избыточным весом наблюдается повышенная чувствительность к пищевым раздражителям, эмоциогенное переедание и пониженная чувствительность к насыщению [15].

Кроме того, показана также приверженность индивидов с ожирением к высокоуглеводной легкоусвояемой пище [16, 17]. Исследователи предположили, что такое пищевое поведение является компенсаторным и формируется в силу серотонинергической недостаточности, приводящей к сниженной секреции серотонина, участвующего в создании состояния эмоционального комфорта [18, 19], так как при массивном наплыве глюкозы в кровь в мозге усиливается синтез серотонина, то есть стимулируется активность серотонинергических систем [16, 20].

В последние годы широко обсуждается значение пищевой аддикции как одного из этиологических факторов развития ожирения и трудностей его лечения. Закономерно, что индивиды, страдающие ожирением, проявляют по сравнению со здоровыми ровесниками больше признаков пищевой аддикции, которая описывается поведенческими чертами и паттернами нейрхимической и мозговой активности, характерными и для наркотической зависимости. В частности, субъекты с пищевой зависимостью сообщают о наличии тяги к нездоровой еде, росте толерантности к ней (потребности во все большем количестве пищи, чтобы удовлетворить свою нездоровую тягу), признаков абстиненции, о слабой способности контролировать неумеренный прием пищи. Аналогичное поведение наблюдается у людей с наркотической зависимостью по отношению к наркотикам [21].

В силу витальности пищи ее прием тесно связан с активацией мозговой системы эмоционального подкрепления, представленной мезолимбической системой вознаграждения, где в передаче мозговых сигналов критическую роль играет дофамин. Мезолимбическая система призвана побуждать организм к поиску благоприятных для выживания стимулов. Через субъективные гедонические переживания, генерируемые при возбуждении мезолимбического пути, индивид как бы поощряется за удачный выбор, который в эволюционном развитии человека мог иметь большое значение для выживания человека как вида. Например, прием сладкой пищи сопровождается чувством наслаждения, поскольку такая пища — быстрый источник энергии для организма.

Исследования с нейровизуализацией выявили, что у людей с ожирением зоны мозга, вовлеченные в создание субъективного ощущения награды, особенно сильно активируются именно пищевыми стимулами [22]. При этом у таких пациентов установлен более низкий по сравнению с нормотрофными индивидуумами базальный уровень дофамина (трансммиттера нейросети вознаграждения), а также пониженная плотность рецепторов дофамина в стриатуме (одной из ключевых структур нейросети вознаграждения) [23], что, по-видимому, обуславливает дефицит возбуждения мозговой системы вознаграждения. По мнению Wang и соавторов [24], индивидуумы с дефицитом активации нейросетей вознаграждения многократно прибегают к перееданию для его компенсации, что приводит к хроническому привычному перееданию и, соответственно, набору лишнего веса. Предполагается, что при регулярном обильном потреблении продуктов с высоким гликемическим индексом (ГИ), то есть продуктов, резко и быстро повышающих уровень глюкозы в крови (продукты с высоким содержи-

ем сахара, рафинированные продукты пищевой промышленности, подвергшиеся глубокой технологической переработке), нарушается нормальная выработка дофамина, и для хорошего самочувствия человеку со временем требуется все большие порции продуктов с высоким ГИ, а отказ от вредной пищи вызывает признаки абстиненции, что осложняет терапию ожирения [25].

Вместе с тем, у индивидов с избыточным весом наблюдается недостаточная активация зон мозга, отвечающих за возникновение ощущения сытости, сознательный контроль поведения, управление вниманием, торможение импульсных побуждений [24, 26, 27]. На психологическом уровне у пациентов с ожирением отмечается повышенная уязвимость эмоциональной сферы, подверженность негативным эмоциональным переживаниям, тревожности, депрессии и другим эмоциональным расстройствам [28–30].

Указанные факторы могут лежать в основе пищевого поведения, ассоциированного с ожирением и характеризующегося низкой устойчивостью к пищевым соблазнам, усиленной реакцией на пищевые раздражители (желание поесть при виде и запахе привлекательных блюд), и, как следствие, склонностью к перееданию, включая эмоциогенное, приверженностью к высококалорийной, легкоусвояемой высокоуглеводной пище, а также тем, что еда служит сверхважным источником удовольствия. В литературе констатируется, что ожирение с трудом поддается лечению, которое заключается главным образом в следовании здоровой низкокалорийной диете и оптимизации режима физической активности, а достигнутые успехи по снижению веса часто нивелируются в силу возраста пациентов к нездоровым пищевым привычкам [25].

В связи с повторяющимися неудачами пациентов в борьбе с лишним весом и в поддержании достигнутых результатов по снижению веса проводится интенсивный поиск новых оптимальных и эффективных путей его лечения. Потенциальный риск получения побочных эффектов от фармакотерапии побуждает исследователей уделять повышенное внимание альтернативным немедикаментозным подходам, позволяющим добиться стойкого положительного результата без вреда для здоровья. Одним из таких перспективных методов терапии ожирения является технология с биологической обратной связью (БОС).

Определение и суть технологии БОС

В соответствии с официальным определением БОС, совместно с сформулированным Ассоциацией прикладной психофизиологии и биологической обратной связи (ААРВ), Международным альянсом по сертификации биологической обратной связи (BCIA) и Международным обществом нейробиоуправления и исследований (ISNR) в 2008 году, Биологическая обратная связь — это процесс, который позволяет человеку научиться произвольно изменять физиологическую активность функциональных систем собственного организма в целях улучшения здоровья и работоспособности, опираясь на показатели точных приборов, измеряющих тренируемые физиологические параметры, такие как показатели мозговой активности, сердечной деятельности, дыхания, мышечной активности и температуры кожи. Эти приборы быстро и точно «сообщают» информацию тренирующемуся пользователю. Презентирование информации о текущем значении тренируемых параметров в сочетании с произвольными изменениями в мышлении, эмоциях и поведении позволяют поддерживать желаемые физиологические изменения. Со временем эти изменения могут сохраниться без дальнейшего использования аппарата [31].

Суть технологии БОС заключается в тренировке способности субъекта сознательно управлять определенными физиологическими параметрами своего организма для приведения их значений к оптимальным показателям, соответствующим здоровому функционированию организма. Технология биоуправления основывается на способности человека к адаптивной саморегуляции психофизиологических функций, обеспечивающей возможность произвольно контролировать не только собственное поведение, но и определенные физиологические процессы с тем, чтобы нормализовать их в случае морфофункциональных отклонений или нарушений. В свою очередь, совершенствование способности субъекта к сознательной саморегуляции функций базируется на фундаментальном свойстве мозга — нейропластичности, то есть на потенциале к пластической/структурной реорганизации нейросетей под воздействием упражнений. БОС-терапия позволяет пациентам научиться сознательно управлять собственными физиологическими показателями благодаря опоре на БОС, когда индивид включается в контур, замкнутый на определенном целевом функциональном параметре его организма таким образом, что он получает текущую информацию о результатах собственных усилий по контролю целевого параметра. При достижении установленных протоколом БОС-терапии целевых

значений управляемого параметра субъект получает обратную связь в виде визуального или аудиального сигнала.

Цель БОС-терапии — развить навыки эффективной адаптивной саморегуляции у индивида с тем, чтобы субъект мог способствовать самоисцелению организма за счет произвольного стимулирования морфофункциональных паттернов организма, свойственных состоянию нормы, и подавления физиологических паттернов, ассоциированных с морфофункциональными нарушениями. Кроме того, БОС-тренинги используются также и здоровыми индивидами для оптимизации сердечной, мозговой и мышечной активности, что позволяет повысить производительность профессиональной деятельности в таких сферах, как спортивная, музыкальная и др. [32–34], а также улучшить когнитивные и управляющие функции мозга [35, 36].

Общепризнано, что изменения в одной из физиологических систем органов организма человека отражаются на других его системах, так же, как и изменения в одном из элементов функциональной системы влияют на состояние всей системы. Соответственно, положительные эффекты БОС-терапии могут объясняться тем, что произвольное изменение состояния одной части единой функциональной системы, приведение показателей ее функционирования к оптимальным параметрам, вызывает согласованные изменения во всей системе, что в итоге оптимизирует функциональное состояние мозга и организма в целом.

Протоколы БОС-тренингов в терапии различных отклонений в здоровье

БОС-терапия успешно используется для коррекции многих функциональных нарушений психофизического здоровья, таких как депрессия и другие эмоциональные расстройства [37, 38], синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) [39], различные виды аддикции [40]. Протоколы БОС-тренингов детерминируются особенностями психофизиологических, физиологических и нейрофизиологических паттернов, характерных для определённых отклонений в здоровье, в соответствии с которыми устанавливаются целевые параметры функциональных систем организма, подлежащих саморегуляции в процессе БОС-терапии для приведения показателей к уровню нормы. При этом БОС может применяться для таких показателей, как температура кожи, различные параметры электроэнцефалограммы (ЭЭГ), магнитоэнцефалограммы (МЭГ), функциональной магнитно-резонансной томограммы (fMRI), электрокардиограммы (ЭКГ), артериального давления, дыхания, мышечной активности (ЭМГ) [31]. Например, для реабилитации пост-инсультных пациентов применяется БОС по ЭМГ [41, 42], а для коррекции артериальной гипертензии используют тренинги с БОС по температуре кожи конечностей [43], а также показателям артериального давления [44]. Технология fMRI позволяет визуализировать активность мозговых структур, а также функциональное связывание (коннективность) удаленных друг от друга отделов мозга на основе показателей интенсивности локального мозгового кровотока. При биоуправлении с применением fMRI сигналы обратной связи идут от зон мозга, которые субъект должен произвольно активировать или, наоборот, деактивировать, либо между которыми необходимо усилить функциональную коннективность [45].

В ЭЭГ-биоуправлении в качестве целевых параметров выступают характеристики электрической активности головного мозга (мощность, амплитуда, индекс отдельных ритмов ЭЭГ, и/или соотношение показателей разных ритмов ЭЭГ). Индивид должен снизить либо усилить определенный ЭЭГ-показатель/показатели в заданных БОС-протоколом зонах мозга, чтобы оптимизировать паттерны активности своего мозга [31]. Посредством ЭЭГ-БОС тренинга в центральной нервной системе формируется программа нового навыка, вырабатываются психологические приемы, позволяющие произвольно изменять мозговые процессы в нужном направлении с целью их оптимизации, и как следствие, успешно справляться с нежелательными состояниями, улучшать контроль собственного поведения. Изменяя биоэлектрическую активность мозга и восстанавливая нейродинамический баланс регуляторных систем, человек учится самостоятельно приводить себя в устойчивое состояние спокойного бодрствования и комфорта, не прибегая для этого к медикаментам, алкоголю, наркотикам, сигаретам или нездоровой пище.

Для коррекции депрессивных состояний, тревожных расстройств, а также аддикций применяются протоколы БОС-терапии, направленные на нормализацию мозговой активности при помощи саморегуляции по параметрам ЭЭГ и fMRI [37]. БОС по параметрам ЭЭГ по-другому называется нейробиоуправлением [31]. Для коррекции депрессий используются три типа протоколов ЭЭГ–БОС. Первый из них нацелен на избирательную активацию левой лобной зоны и относительное снижение активности правого полушария (тренинг на левополушарную лобную асимметрию), поскольку при де-

прессии наблюдается недоактивированность левой лобной зоны при гиперактивации лобной области правого полушария головного мозга. Второй тип протоколов ЭЭГ–БОС тренировок призван уменьшить генерацию тета-ритмов ЭЭГ (4–8 Гц) в пользу усиления бета-ритмов (15–28 Гц) в левой префронтальной коре. И третья категория — это протокол альфа/тета, когда пациент учится увеличивать альфа-активность, выраженность которой характерна для расслабленного спокойного бодрствования, одновременно подавляя тета-ритм ЭЭГ, ассоциированный с повышенной тревожностью [46]. Дополнение терапии наркотической зависимости альфа-стимулирующим ЭЭГ–БОС тренингом и альфа/тета нейробиоуправлением повышает эффективность лечения аддикции [40, 47].

Для редукции симптомов тревожности, которая зачастую сопровождает людей с ожирением [30], успешно апробирован протокол ЭЭГ–БОС тренинга по модулированию фронтальной альфа-асимметрии, упоминавшийся выше. Участники учились произвольно повышать активность левой лобной коры относительно правой, так как ранее было показано, что при повышенной активности правой лобной коры относительно левой индивид испытывает негативные эмоциональные переживания, а обратное соотношение соответствует позитивному эмоциональному фону [46, 48].

Нейромодуляция с применением БОС для лечения ожирения

Как отмечалось выше, при ожирении у пациентов фиксируются определенные изменения мозговой активности, указывающие на повышенную чувствительность мозговой системы эмоционального подкрепления к пищевым раздражителям, и недостаточную активацию нейрональных систем, ответственных за реализацию управляющих функций мозга. На поведенческом уровне ожирение ассоциировано с подверженностью депрессивным расстройствам [49], склонностью к пищевым аддикциям и перееданию, включая эмоциогенное. При этом показано, что БОС-тренинги дают положительный результат при коррекции эмоциональной сферы [46, 48], в борьбе с различными зависимостями, и эффективны для развития и укрепления управляющих функций мозга, то есть аспектов, уязвимость которых характерна для людей с ожирением.

Поскольку биоуправление позволяет модулировать активность нейросетей, исследователи обратились к разработке протоколов БОС для избирательной нейромоуляции мозговых систем, задействованных в контроле эмоционального фона и пищевого поведения, трудностей, которые испытывают пациенты с ожирением. При биоуправлении индивид получает сигналы обратной связи от целевых параметров активности определенных систем головного мозга, в генерирование которых вовлечены мозговые системы, отвечающие за регуляцию эмоциональной сферы и пищевого поведения. Пациент в процессе сеанса БОС-тренинга учится сознательно регулировать заданные параметры с тем, чтобы нормализовать функциональные качества тренируемых нейросетей.

На сегодняшний день опубликовано незначительное число работ по результатам исследований эффективности БОС-нейромодуляции для терапии ожирения и связанных с ним расстройств пищевого поведения. В последнем систематическом обзоре, вышедшем в 2018 году, авторы указывают на 8 работ по этой проблематике, в двух из которых применялось биоуправление по параметрам fMRT, и в шести — ЭЭГ–БОС [50]. При этом в одной из двух работ с применением fMRT исследование проводилось с участием здоровых испытуемых, не страдающих ожирением: участники учились произвольно подавлять активность зон мозга, связанных с аппетитом, при зрительном восприятии аппетитной еды на голодный желудок [51].

В исследовании Kohl и коллег показана эффективность fMRI–БОС тренинга для снижения реактивности на пищевые раздражители и контроля приема нездоровой пищи у лиц с ожирением [52]. Согласно протоколу авторов, испытуемые учились произвольно усиливать активность дорсолатеральной префронтальной коры (длПФК), сниженной у лиц с ожирением по сравнению с нормотрофными субъектами. Благодаря fMRI–БОС тренингу участникам исследования удавалось успешно следовать диетическим рекомендациям для снижения веса. На основании результатов исследования и данных Nare с соавторами (2009) [цит. по 52], которые выявили, что дорсолатеральная префронтальная кора (длПФК) оказывает нисходящее тормозное действие на вентромедиальную префронтальную кору (вмПФК), которая отвечает за обработку субъективной ценности/значимости пищевых продуктов, Kohl с коллегами [52] заключили, что благодаря fMRT–БОС тренингу у испытуемых улучшилась функциональная связь длПФК–вмПФК, что предположительно позитивно повлияло на механизмы контроля приема пищи.

В исследовании Imperatori и соавторов успешно применялся альфа/тета БОС-тренинг для уменьшения признаков пищевой зависимости, где испытуемые должны были произвольно увеличи-

вать амплитуду тета-ритма по отношению в амплитуде альфа-ритма в задних областях мозга, что соответствует состоянию глубокого расслабления в условиях бодрствования. Авторы прибегли к этому протоколу ЭЭГ–БОС, поскольку подобный протокол хорошо зарекомендовал себя при терапии наркотической зависимости [53]. Schmidt и Martin провели пилотное исследование, показав, что ЭЭГ–БОС-тренинг, направленный на подавление высокочастотного бета-ритма (23–28 Гц), выраженность которого коррелирует с растормаживанием приступов переедания у пациентов с ожирением, снижает число эпизодов переедания [54].

Потенциал альфа-стимулирующего тренинга

Основной ритм ЭЭГ — альфа-ритм ЭЭГ (8–12 Гц) — рассматривается как неоднородный по составу и источнику генерации и полифункциональный по функциональному значению. [55]. В отношении ЭЭГ–БОС терапии ожирения интерес представляет высокочастотный альфа-ритм (10–12 Гц), поскольку он, по широко признанному мнению Klimesch и соавторов (2007), ассоциирован с функцией коры головного мозга по вытормаживанию процессов обработки несущественной и нерелевантной информации, что важно для эффективного выполнения текущих актуальных задач. Способность не отвлекаться на нерелевантные сигналы относится к управляющим функциям мозга, слабость которых зафиксирована у людей, страдающих ожирением.

В этой связи применение альфа-стимулирующего тренинга в комплексной терапии ожирения можно рассматривать как перспективный подход, позволяющий облегчить терапию ожирения как за счет снижения риска негативных эмоциональных переживаний из-за необходимости избегать пищевых соблазнов, так и за счет укрепления дисциплинированности, решимости и стойкости пациентов, страдающих ожирением, в следовании рекомендациям по соблюдению диеты и режима физической активности. Ожидаемый положительный эффект альфа-стимулирующего тренинга можно обосновать тем, что, ввиду нейропластичности такая нейромодуляция усиливает нейросети, ответственные за способность не обращать внимание на разного рода отвлекающие раздражители, в том числе пищевые, сохраняя при этом спокойствие и психологический комфорт, что достигается благодаря укреплению тормозной функции коры, эффективность которой ассоциирована с активацией высокочастотного альфа-ритма.

Заключение

Таким образом для БОС-терапии ожирения успешно применяются различные физиологические параметры, однако научный поиск наиболее эффективных подходов к конструированию протоколов БОС, осложняющийся полимодальностью и многофакторностью этиологии нарушений физического и психологического здоровья при ожирении, все еще продолжается.

Данные литературы позволяют заключить, что среди всех типов биоуправления для терапии ожирения наиболее релевантным является БОС с нейромодуляцией, где в качестве тренируемых параметров служат те или показатели мозговой активности, поскольку такая БОС-терапия направлена на регуляцию активности мозговых систем, задействованных в контроле эмоционального фона и пищевого поведения, трудностей, которые испытывают пациенты с ожирением. Нейромодуляция с применением неинвазивной технологии fMRI показала свою эффективность для снижения реактивности на пищевые раздражители и контроля приема нездоровой пищи у лиц с ожирением. Однако БОС-fMRI отличается высокой дороговизной и, соответственно, малой доступностью, а также имеет такое противопоказание, как наличие имплантов и брекетов.

В этом отношении ЭЭГ–БОС терапия (нейробиоуправление) обладает рядом преимуществ, в числе которых, кроме неинвазивности, безопасности, отсутствия противопоказаний и побочных эффектов, простота использования и доступность, а также доказанная эффективность ЭЭГ-биоуправления в терапии различных состояний, при которых наблюдаются паттерны мозговой активности, сходные с паттернами, ассоциированными с ожирением.

Приведенные данные дают основание заключить, что технология ЭЭГ-биоуправления обладает большим потенциалом в применении к комплексной терапии ожирения. В частности, нейробиоуправление может стать действенным инструментом для улучшения способности пациентов контролировать свое пищевое поведение, преодолевать нездоровые пищевые и другие поведенческие привычки, не поддаваться пищевым соблазнам, справляться с негативными эмоциональными переживаниями. ЭЭГ–БОС-тренинги могут помочь субъектам научиться индуцировать эмоциональный ком-

форт не за счет потребления вредной пищи, а сознательного управления собственной мозговой активностью.

При этом следует отметить, что существует множество протоколов ЭЭГ–БОС тренировок в применении к терапии различных неоптимальных состояний, и изучение эффективности различных вариантов ЭЭГ–БОС тренировок продолжается, включая разработку и апробацию протоколов нейробиоуправления для терапии ожирения.

Список литературы

- 1 Seidell J.C. The Global Burden of Obesity and the Challenges of Prevention / J.C. Seidell, J. Halberstadt // *Annals of Nutrition and Metabolism*. — 2015. — Vol. 66, Suppl. 2. — P. 7–12. <https://doi.org/10.1159/000375143>
- 2 Demeulemeester F. Obesity as a Risk Factor for Severe COVID-19 and Complications: A Review / F. Demeulemeester, K. de Punder, M. van Heijningen, F. van Doesburg // *Cells*. — 2021. — Vol. 10 (4). — P. 933. <https://doi.org/10.3390/cells10040933>
- 3 Editorial. Obesity: another ongoing pandemic // *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. — 2021. — Vol. 6. — P. 411. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(21\)00143-6](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(21)00143-6)
- 4 Sharmanov T. Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements / T. Sharmanov, S. Tazhibayev, A. Salkhanova, S. Alliyarova, G. Khassenova, A. Chuyenbekova, A. Kozhakhmetova, M. Kainarbayeva, A. Abduldajeva // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. — 2016. — Vol. 7 (1). — P. 2287–2297.
- 5 Report of the Commission on Ending Childhood Obesity. — Geneva: WHO Press, 2016. — 68 p.
- 6 Rohrer J.E. Psychosocial risk factors for obesity among women in a family planning clinic / J.E. Rohrer, B.M. Rohland // *BMC Family Practice*. — 2004. — Vol. 5 (1). — P.20–26. <https://doi.org/10.1186/1471-2296-5-20>
- 7 Brahmhatt M. Social and Physical Determinants of Obesity in Adults / M. Brahmhatt // *Advances in Obesity, Weight Management & Control*. — 2017. — Vol. 6 (1). — P. 17–23. <https://doi.org/10.15406/aowmc.2017.06.00144>
- 8 Narciso J. Behavioral, contextual and biological factors associated with obesity during adolescence: A systematic review / J. Narciso, A.J. Silva, V. Rodrigues, M.J. Monteiro, A. Almeida, E. Saavedra, A.M. Costa // *PLoS One*. — 2019. — Vol. 14 (4). — P. e0214941. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214941>
- 9 Ruhm C.J. Understanding overeating and obesity / C.J. Ruhm // *J Health Econ*. — 2012. — Vol. 31 (6). — P. 781–796. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2012.07.004>
- 10 Hill J.O. The Importance of Energy Balance / J.O. Hill, H.R. Wyatt, J.C. Peters // *Eur Endocrinol*. — 2013. — Vol. 9 (2). — P. 111–115. <https://doi.org/10.17925/EE.2013.09.02.111>
- 11 Laguna-Camacho A. Episodic Frequency of Energy-Dense Food Consumption in Women with Excessive Adiposity / A. Laguna-Camacho, G.A. Castro-Nava, J.A. López-Arriaga // *Biomed Res Int*. — 2017. — Vol. 2017. — P. 5910174. <https://doi.org/10.1155/2017/5910174>
- 12 Molitor S.J. Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire for adolescents treated in a weight management clinic / S.J. Molitor, C.K. Fox, M.O. Bensignor, A.C. Gross // *Int J Obes*. — 2021. — Vol. 45. — P. 1086–1094. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00778-6>
- 13 Hunot C. Appetitive traits and relationships with BMI in adults: Development of the Adult Eating Behaviour Questionnaire / C. Hunot, A. Fildes, H. Croker, C.H. Llewellyn, J. Wardle, R.J. Beeken // *Appetite*. — 2016. — Vol. 105. — P. 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.05.024>
- 14 Webber L. Eating behaviour and weight in children / L. Webber, C. Hill, J. Saxton, van Jaarsveld C.H., J. Wardle // *Int J Obes*. — 2009. — Vol. 33. — P. 21–28.
- 15 Croker H. Appetitive behaviours of children attending obesity treatment / H. Croker, L. Cooke, J. Wardle // *Appetite*. — 2011. — Vol. 57. — P. 525–529.
- 16 Wurtman R.J. Brain serotonin, carbohydrate-craving, obesity and depression / R.J. Wurtman, J.J. Wurtman // *Obes Res*. — 1995. — Vol. 3, Suppl. 4. — P. 477S–480S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00215.x>
- 17 Kim D.Y. Association between dietary carbohydrate quality and the prevalence of obesity and hypertension / D.Y. Kim, S.H. Kim, H. Lim // *J Hum Nutr Diet*. — 2018. — Vol. 31 (5). — P. 587–596. <https://doi.org/10.1111/jhn.12559>
- 18 Jenkins T.A. Influence of Tryptophan and Serotonin on Mood and Cognition with a Possible Role of the Gut-Brain Axis / T.A. Jenkins, J.C. Nguyen, K.E. Polglaze, P.P. Bertrand // *Nutrients*. — 2016. — Vol. 20 (1). — P. 56. <https://doi.org/10.3390/nu8010056>
- 19 Kroes, M.C. Food can lift mood by affecting mood-regulating neurocircuits via a serotonergic mechanism / M.C. Kores, G.A. van Wingen, J. Wittwer, M.H. Mohajeri, J. Kloek, G. Fernández // *NeuroImage*. — 2014. — Vol. 84. — P. 825–832. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.041>
- 20 Leibowitz S.F. Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weight / S.F. Leibowitz, J.T. Alexander // *Biol Psychiatry*. — 1998. — Vol. 44 (9). — P. 851–864. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)00186-3](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)00186-3)
- 21 Gearhardt A.N. Preliminary validation of the Yale Food Addiction Scale / A.N. Gearhardt, W.R. Corbin, K.D. Brownell // *National Library of Medicine*. — 2008. — Vol. 52. — P. 430–436.

- 22 Tuulari J.J. Neural circuits for cognitive appetite control in healthy and obese individuals: an fMRI study / J.J. Tuulari, H.K. Karlsson, J. Hirvonen, P. Salminen, P. Nuutila, L. Nummenmaa // *PLoS One*. — 2015. — Vol. 10 (2). — P. e0116640. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116640>
- 23 Volkow N.D. Low dopamine striatal D2 receptors are associated with prefrontal metabolism in obese subjects: possible contributing factors / N.D. Volkow, G.J. Wang, F. Telang, J.S. Fowler, P.K. Thanos, J. Logan, D. Alexoff, Y.S. Ding, C. Wong, Y. Ma, K. Pradhan // *Neuroimage*. — 2008. — Vol. 42 (4). — P. 1537–1543. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.06.002>
- 24 Wang G.J. The role of dopamine in motivation for food in humans: implications for obesity / G.J. Wang, N.D. Volkow, J.S. Fowler // *Expert Opin Ther Targets*. — 2002. — Vol. 6 (5). — P. 601–609. DOI: 10.1517/14728222.6.5.601
- 25 Lennerz B. Food Addiction, High-Glycemic-Index Carbohydrates, and Obesity / B. Lennerz, J.K. Lennerz // *Clin Chem*. — 2018. — Vol. 64 (1). — P. 64–71. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2017.273532>
- 26 Makaronidis J.M. Obesity, body weight regulation and the brain: insights from fMRI / J.M. Makaronidis, R.L. Batterham // *Br J Radiol*. — 2010. — Vol. 91 (1089). — P. 20170910. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170910>
- 27 Batterink L. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study / L. Batterink, S. Yokum, E. Stice // *Neuroimage*. — 2010. — Vol. 52 (4). — P. 1696–1703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
- 28 Griffiths L.J. Is obesity associated with emotional and behavioural problems in children? Findings from the Millennium Cohort Study / L.J. Griffiths, C. Dezaux, A. Hill // *Int J Pediatr Obes*. — 2011. — Vol. 6 (2–2). — e423–e432. <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.526221>
- 29 Kontinen H. Depression, emotional eating and long-term weight changes: a population-based prospective study / H. Kontinen, T. van Strien, S. Männistö, P. Jousilahti, A. Haukka // *Int J Behav Nutr Phys Act*. — 2019. — Vol. 16 (1). — P. 28. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0791-8>
- 30 Garipey G. The association between obesity and anxiety disorders in the population: a systematic review and meta-analysis / G. Garipey, D. Nitka, N. Schmitz // *Int J Obes*. — 2010. — Vol. 34. — P. 407–419. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.252>
- 31 Moss D.P. Biofeedback: A Practitioner's Guide. 4th edition / D.P. Moss // Edited by M.S. Schwartz, F. Andrasik. — New York: The Guilford Press, 2016. — 786 p.
- 32 Morgan J.S. Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review / J.S. Morgan, J.A. Molina Mora // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2017. — Vol. 42 (3). — P. 235–245. DOI: 10.1007/s10484-017-9364-2
- 33 Петренко Т.И. Перспективы использования биологической обратной связи для обучения музыкантов-исполнителей / Т.И. Петренко, О.М. Базанова, М.К. Кабардов // *Вестн. РУДН. Сер. Психология и педагогика*. — 2019. — Т. 16, № 4. — С. 495–516. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-4-495-516>
- 34 Egner T. Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance / T. Egner, J.H. Gruzelier // *Neuroreport*. — 2003. — Vol. 14 (9). — P. 1221–1224. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000081875.45938.d1>
- 35 Vernon D.J. Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research / D.J. Vernon // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2005. — Vol. 30 (4) — P. 347–364. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>
- 36 Viviani G. EEG-neurofeedback and executive function enhancement in healthy adults: A systematic review / G. Viviani, A. Vallesi // *Psychophysiology*. — 2021. — Vol. 58 (9). — P. e13874. <https://doi.org/10.1111/psyp.13874>
- 37 Melnikov M.Y. The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review / M.Y. Melnikov // *Neural Plast*. — 2021. — Vol. 2021. — P. 8878857. <https://doi.org/10.1155/2021/8878857>
- 38 Banerjee S. Neurofeedback and Biofeedback for Mood and Anxiety Disorders: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines / S. Banerjee, C. Argáez. — Ottawa: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health, 2017. — 26 p.
- 39 Enriquez-Geppert S. Neurofeedback as a Treatment Intervention in ADHD: Current Evidence and Practice / S. Enriquez-Geppert, D. Smit, M.G. Pimenta, M. Arns // *Curr Psychiatry Rep*. — 2019. — Vol. 21 (6). — P. 46. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1021>
- 40 Dehghani-Arani F. Neurofeedback training for opiate addiction: improvement of mental health and craving / F. Dehghani-Arani, R. Rostami, H. Nadali // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2013. — Vol. 38 (2). — P. 133–141. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9218-5>
- 41 Spencer J. Biofeedback for Post-stroke Gait Retraining: A Review of Current Evidence and Future Research Directions in the Context of Emerging Technologies / J. Spencer, S.L. Wolf, T.M. Kesar // *Front Neurol*. — 2021. — Vol. 12. — P. 637199. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.637199>
- 42 Stanton R. Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review / R. Stanton, L. Ada, C.M. Dean, E. Preston // *J Physiother*. — 2017. — Vol. 63 (1). — P. 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.11.006>
- 43 Blanchard E.B. Controlled evaluation of thermal biofeedback in treatment of elevated blood pressure in unmedicated mild hypertension / E.B. Blanchard, G. Eisele, A. Vollmer, A. Payne, M. Gordon, P. Cornish, L. Gilmore // *Biofeedback Self Regul*. — 1996. — Vol. 21 (2). — P. 167–190. <https://doi.org/10.1007/BF02284694>
- 44 Nakao M. Blood pressure-lowering effects of biofeedback treatment in hypertension: a meta-analysis of randomized controlled trials / M. Nakao, E. Yano, S. Nomura, T. Kuboki // *Hypertens Res*. — 2003. — Vol. 26 (1). — P. 37–46. <https://doi.org/10.1291/hypres.26.37>

- 45 Watanabe T. Advances in fMRI Real-Time Neurofeedback / T. Watanabe, Y. Sasaki, K. Shibata, M. Kawato // Trends Cogn Sci. — 2017. — Vol. 21 (12). — P. 997–1010. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.010>
- 46 Dias A.M. A new neurofeedback protocol for depression / A.M. Dias, A. van Deusen // Span J Psychol. — 2011. — Vol. 14 (1). — P. 374–384.
- 47 Старк М.Б. Биоуправление. Теория и практика. / М.Б. Старк, М.С. Шварц. — 4-е изд. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. — 350 с.
- 48 Mennella R. Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety / R. Mennella, E. Patron, D. Palomba // Behav Res Ther. — 2017. — Vol. 92. — P. 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- 49 Blasco B.V. Obesity and Depression: Its Prevalence and Influence as a Prognostic Factor: A Systematic Review / B.V. Blasco, J. García-Jiménez, I. Bodoano, L. Gutiérrez-Rojas // Psychiatry Investig. — 2020. — Vol. 17 (8). — P. 715–724. <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0099>
- 50 Imperatori C. Feedback-Based Treatments for Eating Disorders and Related Symptoms: A Systematic Review of the Literature / C. Imperatori, M. Mancini, G. Della Marca, E.M. Valenti, B. Farina // Nutrients. — 2018. — Vol. 10 (11). — P. 1806. <https://doi.org/10.3390/nu10111806>
- 51 Spetter M.S. Volitional regulation of brain responses to food stimuli in overweight and obese subjects: A real-time fMRI feedback study / M.S. Spetter, R. Malekshahi, N. Birbaumer, M. Lührs, A.H. van der Veer, K. Scheffler, S. Spuckti, H. Preissl, R. Veit, M. Hallschmid // Appetite. — 2017. — Vol. 112. — P. 188–195.
- 52 Kohl S.H. Real-time fMRI neurofeedback training to improve eating behavior by self-regulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A randomized controlled trial in overweight and obese subjects / S.H. Kohl, R. Veit, M.S. Spetter, A. Günther, A. Rina, M. Lührs, N. Birbaumer, H. Preissl, M. Hallschmid // Neuroimage. — 2019. — Vol. 191. — P. 596–609.
- 53 Imperatori C. Coping food craving with neurofeedback. Evaluation of the usefulness of alpha/theta training in a non-clinical sample / C. Imperatori, E.M. Valenti, G.D. Marca, N. Amoroso, C. Massullo, G.A. Carbone, G. Maestoso, M.I. Quintiliani, A. Contardi, B. Farina // International Journal of Psychophysiology. — 2016. — Vol. 112. — P. 89–97.
- 54 Schmidt J. Neurofeedback reduces overeating episodes in female restrained eaters: a randomized controlled pilot-study / J. Schmidt, A. Martin // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. — 2015. — Vol. 40 (4). — P. 283–295.
- 55 Bazanova O.M. Interpreting EEG alpha activity / O.M. Bazanova, D. Vernon // Neurosci Biobehav Rev. — 2014. — Vol. 44. — P. 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>

А.М. Зияшева, Г.К. Датхабаева

Әдебиеттегі деректер бойынша семіздікті емдеу үшін нейробиореттеу әлеуетін бағалау

Мақалада қанайналымы жүйесінің аурулары, қатерлісіктің белгілі бір түрлері, екінші типті диабет, сондай-ақ басқа да бірқатар созылмалы инфекциялық емес және инфекциялық аурулар (COVID-19 ауру барысын және оның ұзақ кешенді емдеуді талап ететін асқинуларын қоса) секілді әлеуметтік-маңызды аурулардың күрделі қауіп факторы болатын, таралуы әлемдік эпидемия көлеміне жеткен созылмалы ауру — семіздікті емдеуде ЭЭГ (ЭЭГ-биореттеу/нейробиореттеу) параметрлері бойынша биологиялық кері байланысқа сүйенумен ми қызметі жағдайының өздігінше реттеу технологиясын қолдану болашағын бағалау берілген. Денсаулық пен жұмысқа қабілетті жақсарту мақсатында организмнің сау қызмет етуіне сәйкес келетін оңтайлы көрсеткіштерге келтіру үшін субъектінің өз организмнің белгілі бір физиологиялық параметрлерін саналы реттеу қабілетін жаттықтыруды білдіретін биологиялық кері байланыс негізінде биореттеу технологиясының мәні қарастырылған. Биологиялық кері байланыстың көмегімен өзін-өзі реттеу қабілетін дамыту ми белсенділігінің, жүрек қызметінің, тыныс алудың, бұлшық ет белсенділігі мен тері температурасының көрсеткіштері секілді жаттықтырылатын физиологиялық параметрлерді өлшейтін дәл аспаптардың көрсеткіштеріне сүйенумен өтеді. Мақалада семіздікті емдеудегі ЭЭГ-биореттеудің мақсатқа сай болуының және тиімділігінің нейробиологиялық негіздемесі берілген, семіздікті және оған байланысты тағамдық тәртіптің бұзылыстарын биологиялық кері байланыспен емдеудің қолданылған хаттамалары туралы айтылады, осыларға сай салауатты емес тағамды тұтынбастан, нейромодуляция арқылы ми белсенділігінің үлгілерін оңтайландыруға, реттеу жүйелерінің нейродинамикалық үйлесімін қалпына келтіруге және өзін-өзі тыныш, сергек және психологиялық жайлы қалыптағы тұрақты жағдайға келтіруге болады.

Кілт сөздер: семіздік, нейробиореттеу, биологиялық кері байланыс, тағамдық тәртіп, тағамдық тәуелділік, өзін-өзі реттеу, ЭЭГ ырақтары, нейромодуляция.

A.M. Ziyasheva, G.K. Datkhabayeva

Evaluation of the potential of Neurofeedback for the obesity treatment according to the literature data

The article is devoted to the evaluation of prospects of applying the technology of self-regulation of the brain functional state by means of biofeedback using EEG parameters (Neurofeedback) in the obesity treatment — chronic disease, the prevalence of which has reached the scale of a global epidemic. It serves as a serious risk factor for cardiovascular diseases, certain types of cancer, type II diabetes, as well as other chronic non-communicable and infectious diseases, including severe COVID-19 and its complications. The essence of biofeedback technology is constituted in training the subject's ability to voluntarily control certain physiological parameters of own body to bring them to optimal scores which correspond to the healthy functioning of the body for improving health and performance. The development of self-regulation ability through biofeedback is based on the precise instrumental measurements of physiological activity indicators, such as brain activity, the activity of cardiovascular and respiratory systems, muscle activity, and skin temperature. The article provides a neurobiological justification of the expediency and effectiveness of neurofeedback in the obesity treatment; highlights the protocols used for the biofeedback therapy of obesity and associated disturbances of eating behavior; emphasizes the importance of neurofeedback therapy for optimizing brain activity patterns by voluntary neuromodulation, restoring the neurodynamic balance of regulatory systems for driving the subject into a stable state of calm and psychological comfort without resorting to unhealthy food.

Keywords: obesity, neurofeedback, biofeedback, eating behavior, food addictions, self-regulation, EEG rhythms, neuromodulation.

References

- 1 Seidell, J.C., & Halberstadt, J. (2015). The Global Burden of Obesity and the Challenges of Prevention. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66 (Suppl. 2), 7–12. <https://doi.org/10.1159/000375143>
- 2 Demeulemeester, F., de Punder, K., van Heijningen, M., & van Doesburg, F. (2021). Obesity as a Risk Factor for Severe COVID-19 and Complications: A Review. *Cells*, 10(4); 933. <https://doi.org/10.3390/cells10040933>
- 3 Editorial (2021). Obesity: another ongoing pandemic. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 6(6), 411. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(21\)00143-6](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(21)00143-6)
- 4 Sharmanov, T., Tazhibayev, S., Salkhanova, A., Alliyarova, S., Khassenova, G., Chuyenbekova, A., Kozhakhmetova, A., Kainarbayeva, M., & Abduldayeva, A. (2016). Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 2287–2297.
- 5 (2016). *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*. Geneva: WHO Press.
- 6 Rohrer, J.E., & Rohland, B.M. (2004). Psychosocial risk factors for obesity among women in a family planning clinic. *BMC Family Practice*. 5(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2296-5-20>
- 7 Brahmabhatt, M. (2017). Social and Physical Determinants of Obesity in Adults. *Advances in Obesity, Weight Management & Control*, 6(1); 17–23. <https://doi.org/10.15406/aowmc.2017.06.00144>
- 8 Narciso, J., Silva, A.J., Rodrigues, V., Monteiro, M.J., Almeida, A., Saavedra, R., & Costa, A.M. (2019). Behavioral, contextual and biological factors associated with obesity during adolescence: A systematic review. *PLOS ONE*, 14(4); e0214941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214941>
- 9 Ruhm, C.J. (2012). Understanding overeating and obesity. *Journal of Health Economics*, 31(6); 781–796. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2012.07.004>
- 10 Hill, J.O., Wyatt, H.R., & Peters, J.C. (2013). The Importance of Energy Balance. *European Endocrinology*, 9(2); 111. <https://doi.org/10.17925/ee.2013.09.02.111>
- 11 Laguna-Camacho, A., Castro-Nava, G.A., & López-Arriaga, J.A. (2017). Episodic Frequency of Energy-Dense Food Consumption in Women with Excessive Adiposity. *BioMed Research International*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2017/5910174>
- 12 Molitor, S.J., Fox, C.K., Bensignor, M.O., & Gross, A.C. (2021). Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire for adolescents treated in a weight management clinic. *International Journal of Obesity*, 45(5); 1086–1094. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00778-6>
- 13 Hunot, C., Fildes, A., Croker, H., Llewellyn, C.H., Wardle, J., & Beeken, R.J. (2016). Appetitive traits and relationships with BMI in adults: Development of the Adult Eating Behaviour Questionnaire. *Appetite*, 105; 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.05.024>
- 14 Webber, L., Hill, C., Saxton, J., Van Jaarsveld, C.H., & Wardle, J. (2009). Eating behaviour and weight in children. *International Journal of Obesity*, 33(1); 21–28. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.219>
- 15 Croker, H., Cooke, L., & Wardle, J. (2011). Appetitive behaviours of children attending obesity treatment. *Appetite*, 57(2); 525–529. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.05.320>

- 16 Wurtman, R.J., & Wurtman, J.J. (1995). Brain Serotonin, Carbohydrate-Craving, Obesity and Depression. *Obesity Research*, 3(54); 477S-480S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00215.x>
- 17 Kim, D.Y., Kim, S.H., & Lim, H. (2018). Association between dietary carbohydrate quality and the prevalence of obesity and hypertension. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31(5); 587–596. <https://doi.org/10.1111/jhn.12559>
- 18 Jenkins, T., Nguyen, J., Polglaze, K., & Bertrand, P. (2016). Influence of Tryptophan and Serotonin on Mood and Cognition with a Possible Role of the Gut-Brain Axis. *Nutrients*, 8(1); 56. <https://doi.org/10.3390/nu8010056>
- 19 Kores, M.C., van Wingen, G.A., Wittwer, J., Mohajeri, M.H., Kloek, J., & Fernández, G. (2014). Food can lift mood by affecting mood-regulating neurocircuits via a serotonergic mechanism. *NeuroImage*, 84; 825–832. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.041>
- 20 Leibowitz, S.F., & Alexander, J.T. (1998). Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weight. *Biological Psychiatry*, 44(9); 851–864. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)00186-3](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)00186-3)
- 21 Gearhardt, A.N., Corbin, W.R., & Brownell, K.D. (2008). Preliminary validation of the Yale Food Addiction Scale. *National Library of Medicine*, 52(2); 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.12.003>
- 22 Tuulari, J.J., Karlsson, H.K., Hirvonen, J., Salminen, P., Nuutila, P., & Nummenmaa, L. (2015). Neural Circuits for Cognitive Appetite Control in Healthy and Obese Individuals: An fMRI Study. *PLOS ONE*, 10(2); e0116640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116640>
- 23 Volkow, N.D., Wang, G.J., Telang, F., Fowler, J.S., Thanos, P.K., Logan, J., Alexoff, D., Ding, Y.S., Wong, C., Ma, Y., & Pradhan, K. (2008). Low dopamine striatal D2 receptors are associated with prefrontal metabolism in obese subjects: Possible contributing factors. *NeuroImage*, 42(4); 1537–1543. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.06.002>
- 24 Wang, G., Volkow, N.D., & Fowler, J.S. (2002). The role of dopamine in motivation for food in humans: implications for obesity. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 6 (5); 601–609. <https://doi.org/10.1517/14728222.6.5.601>
- 25 Lennerz, B., & Lennerz, J. K. (2018). Food Addiction, High-Glycemic-Index Carbohydrates, and Obesity. *Clinical Chemistry*, 64(1); 64–71. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2017.273532>
- 26 Makaronidis, J.M., & Batterham, R.L. (2018). Obesity, body weight regulation and the brain: insights from fMRI. *The British Journal of Radiology*, 20170910. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170910>
- 27 Batterink, L., Yokum, S., & Stice, E. (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: An fMRI study. *Neuro Image*, 52 (4); 1696–1703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
- 28 Griffiths, L.J., Dezaux, C., & Hill, A. (2011). Is obesity associated with emotional and behavioural problems in children? Findings from the Millennium Cohort Study. *International Journal of Pediatric Obesity*, 6(2–2); e423-e432. <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.526221>
- 29 Kontinen, H., van Strien, T., Männistö, S., Jousilahti, P., & Haukka, A. (2019). Depression, emotional eating and long-term weight changes: a population-based prospective study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16 (1). <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0791-8>
- 30 Gariépy, G., Nitka, D., & Schmitz, N. (2010). The association between obesity and anxiety disorders in the population: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity*, 34(3); 407–419. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.252>
- 31 Moss, D.P. (2016). *Biofeedback: A Practitioner's Guide* (4th edition). Edited by Mark S. Schwartz and Frank Andrasik. New York: Guilford Press. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-44.4.09>
- 32 Jiménez Morgan, S., & Molina Mora, J.A. (2017). Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42 (3); 235–245. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9364-2>
- 33 Petrenko, T.I., Bazanova, O.M., & Kabardov, M.K. (2019). Perspektivy ispolzovaniia biologicheskoi obratnoi svyazi dlia obucheniia muzykantov-ispolnitelei [Prospects for Using Adaptive Biofeedback to Train Musicians]. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. *Seriia Psikhologiya i pedagogika — Bulletin of Russian Peoples' Friendship University, Journal of Psychology and Pedagogics*, 16(4); 495–516. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-4-495-516> [in Russian].
- 34 Egnér, T., & Gruzelier, J.H. (2003). Ecological validity of neurofeedback. *Neuro Report*, 14(9); 1221–1224. <https://doi.org/10.1097/00001756-200307010-00006>
- 35 Vernon, D. J. (2005). Can Neurofeedback Training Enhance Performance? An Evaluation of the Evidence with Implications for Future Research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(4); 347–364. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>
- 36 Viviani, G., & Vallesi, A. (2021). EEG-neurofeedback and executive function enhancement in healthy adults: A systematic review. *Psychophysiology*, 58 (9). <https://doi.org/10.1111/psyp.13874>
- 37 Melnikov, M.Y. (2021). The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review. *Neural Plasticity*, 1–31. <https://doi.org/10.1155/2021/8878857>
- 38 Banerjee, S., & Argáez, C. (2017). *Neurofeedback and Biofeedback for Mood and Anxiety Disorders: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines*. Ottawa: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531603/>
- 39 Enriquez-Geppert, S., Smit, D., Pimenta, M.G., & Arns, M. (2019). Neurofeedback as a Treatment Intervention in ADHD: Current Evidence and Practice. *Current Psychiatry Reports*, 21 (6). <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1021-4>
- 40 Dehghani-Arani, F., Rostami, R., & Nadali, H. (2013). Neurofeedback Training for Opiate Addiction: Improvement of Mental Health and Craving. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38 (2); 133–141. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9218-5>

- 41 Spencer, J., Wolf, S.L., & Kesar, T.M. (2021). Biofeedback for Post-stroke Gait Retraining: A Review of Current Evidence and Future Research Directions in the Context of Emerging Technologies. *Frontiers in Neurology*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.637199>
- 42 Stanton, R., Ada, L., Dean, C.M., & Preston, E. (2017). Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, *63*(1); 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.11.006>
- 43 Blanchard, E.B., Eisele, G., Vollmer, A., Payne, A., Gordon, M., Cornish, P., & Gilmore, L. (1996). Controlled evaluation of thermal biofeedback in treatment of elevated blood pressure in unmedicated mild hypertension. *Biofeedback and Self-Regulation*, *21*(2); 167–190. <https://doi.org/10.1007/bf02284694>
- 44 Nakao, M., Yano, E., Nomura, S., & Kuboki, T. (2003). Blood Pressure-Lowering Effects of Biofeedback Treatment in Hypertension: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Hypertension Research*, *26*(1); 37–46. <https://doi.org/10.1291/hypres.26.37>
- 45 Watanabe, T., Sasaki, Y., Shibata, K., & Kawato, M. (2017). Advances in fMRI Real-Time Neurofeedback. *Trends Cogn Sci.*, *21* (12); 997–1010. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.010>
- 46 Dias, A.M., & van Deusen, A. (2011). A New Neurofeedback Protocol for Depression. *The Spanish journal of psychology*, *14*(1); 374–384. https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.34
- 47 Shtark, M.B., & Shwarc, M. (2002). *Bioupravlenie. Teoriia i praktika [Biofeedback. Theory and Practice]*. 4 ed. Novosibirsk: TsERIS [in Russian].
- 48 Mennella, R., Patron, E., & Palomba, D. (2017). Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behav Res Ther.* *92*; 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- 49 Blasco, B. V., García-Jiménez, J., Bodoano, I., & Gutiérrez-Rojas, L. (2020). Obesity and Depression: Its Prevalence and Influence as a Prognostic Factor: A Systematic Review. *Psychiatry Investigation*, *17*(8); 715–724. <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0099>
- 50 Imperatori, C., Mancini, M., Della Marca, G., Valenti, E.M., & Farina, B. (2018). Feedback-Based Treatments for Eating Disorders and Related Symptoms: A Systematic Review of the Literature. *Nutrients*, *10* (11); 1806. <https://doi.org/10.3390/nu10111806>
- 51 Spetter, M.S., Malekshahi, R., Birbaumer, N., Lührs, M., van der Veer, A.H., Scheffler, K., Spuckti, S., Preissl, H., Veit, R., & Hallschmid, M. (2017). Volitional regulation of brain responses to food stimuli in overweight and obese subjects: A real-time fMRI feedback study. *Appetite*, *112*; 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.01.032>
- 52 Kohl, S.H., Veit, R., Spetter, M.S., Günther, A., Rina, A., Lührs, M., Birbaumer, N., Preissl, H., & Hallschmid, M. (2019). Real-time fMRI neurofeedback training to improve eating behavior by self-regulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A randomized controlled trial in overweight and obese subjects. *Neuroimage*, *191*; 596–609. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.02.033>
- 53 Imperatori, C., Valenti, E.M., Marca, G.D., Amoroso, N., Massullo, C., Carbone, G.A., Maestoso, G., Quintiliani, M.I., Contardi, A., & Farina, B. (2016). Coping food craving with neurofeedback. Evaluation of the usefulness of alpha/theta training in a non-clinical sample. *International Journal of Psychophysiology*, *112*; 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.11.010>
- 54 Schmidt, J., & Martin, A. (2015). Neurofeedback reduces overeating episodes in female restrained eaters: a randomized controlled pilot-study. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, *40* (4); 283–295. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9297-6>
- 55 Bazanova, O.M., & Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neurosci Biobehav Rev.*, *44*; 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>

С.С. Жекенов*, С.А. Талжанов

Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қазақстан

**Хат-хабарларға арналған автор: zhekenovsayan@gmail.com*

Қарағанды облысында туризм саласының дамуына элеуметтік-экономикалық баға беру

Бүгінде Қазақстанға шетелдік туристерді тарту бойынша республикалық және өңірлік деңгейлерде үлкен жұмыстар жүргізілуде. Қарағанды облысында имидждік саясат және облыстың туристік дестинацияларын дәріптеу саласында іс-шаралар іске асырылуда. Туризм индустриясының дамуын стратегиялық басқаруды жетілдіру мәселесі тақырыптың өзектілігін сипаттайтын зерттеулерге деген қызығушылықты арттыруды талап етеді. Атап айтқанда, стратегияны тұжырымдау проблемасы толық шешілмеген, туризмді дамыту стратегиясының стандарттары мен тиімділік көрсеткіштері тұжырымдалмаған, қабылданған стратегияны іске асыруға сыртқы және ішкі факторлардың әсерін өлшеу және ажырату проблемасы қарастырылмаған, қабылданған стратегияны іске асырудың тиімді тетігі жоқ. Мақалада Қарағанды облысында туризмді дамыту процесі сипатталған.

Кілт сөздер: туризм, Қарағанды облысы, экономика, индустрия, даму, мемлекет.

Туризм индустриясын және қонақжайлылықты дамыту Қазақстан экономикасы үшін барынша өзекті міндет болып табылады, өйткені Қазақстанның туристік және ойын-сауық әлеуеті зор. Республика аумағы бірегей рекреациялық және табиғи ресурстармен, әлемдік мұрамен және елдің тарихи-мәдени мұрасымен сипатталады. Түрлі туристік ресурстардың болуы бізге туризмнің мынадай негізгі салаларын дамытуға мүмкіндік берді:

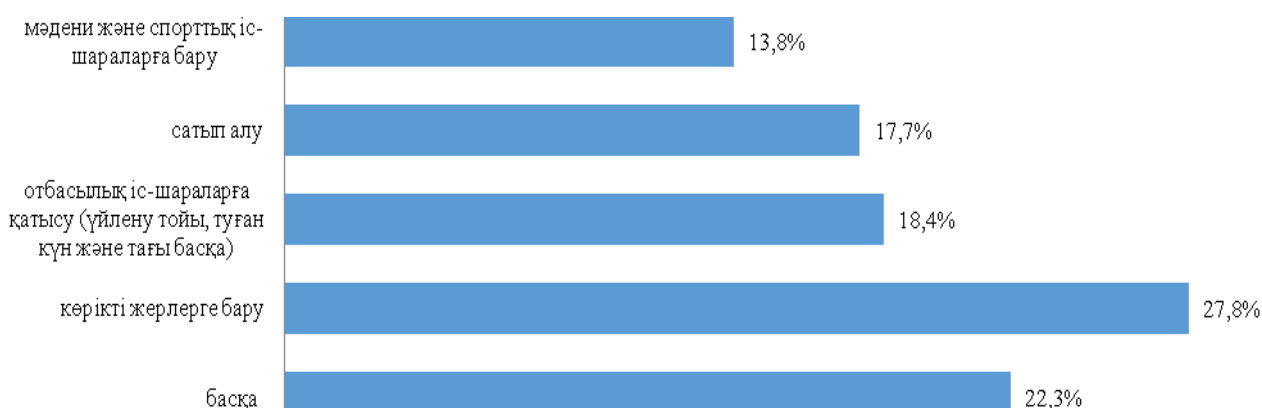
- жағажайлар;
- мәдениет және білім;
- сауда;
- денсаулықты нығайту;
- қызмет және экотуризм [1].

Әрине, Қазақстан Республикасының орталық өңірі нарықтық экономика шеңберінде қарқынды өсуді бастан кешуде, бірақ негізінен бұл тау-кен өндіру және металлургия өнеркәсібі, ал туризмге келетін болсақ, ол әлі де ұзақ даму сатысында. Қызмет көрсету және туризм саласында барлық инфрақұрылым бұрынғыдай деңгейде. Өкінішке орай, мұнда ешқандай даму жоқ, ал жеке компаниялар мемлекеттен ешқандай қолдау алған жоқ. Әрине, елде аймақта туризмді дамытудың түрлі бағдарламаларын әзірлеу бойынша белсенді жұмыс жүргізілуде, бірақ бұл бағдарламаларды аз адамдар жүзеге асырды. Қарағанды облысын табиғи ресурстарға бай өңір ету үшін бірінші кезекте ұлттық деңгейде инфрақұрылымды дамыту, транзит ережелерін жеңілдету және иммиграциялық билік орындарының жұмысын стандарттау қажет. Ескі қонақ үйлермен қатар инфрақұрылымның кемшіліктеріне автомобиль жолдарының сапасының нашарлығы, тамақтану қызметтерін кәсіби емес ұйымдастыру, қонақжайлылық саласында білікті кадрлардың жетіспеушілігі бар [2].

Қарағанды облысында туризм саласын стратегиялық басқарудың ең көп таралған сегіз тұжырымдамасын ажырату керек:

- коммерциялық қонақжайлылық түріндегі туризм;
- туризм ойын-сауықтың, бос уақыт пен қызметтің заманауи түрі ретінде;
- туризм белсенді саяхат ретінде;
- туризм дәстүрлі қажылықтың заманауи нұсқасы ретінде;
- туризмді сертификаттау процесі;
- туризмде маңызды мәдени мәселелер мен проблемаларды қайта жаңғырту.
- туризм-этникалық қатынастардың бір түрі.

Сонымен қатар дүниежүзілік COVID-19 пандемиясына байланысты Қазақстанға келу туризмі бойынша келушілер саны 90,9 %-ға азайды. Қарағанды облысына келушілер түрлі мақсаттармен келеді. Қарағанды облысына келген келушілердің іс түрлері бойынша келесі түрде пайызбен бөліп көрсетуге болады (1 сурет).



Сурет 1. Келген келушілердің айналысқан істерінің түрлері бойынша бөлу, пайызбен [3]

Келушілердің істерінің ең танымал емесі — діни туризм, өйткені бұл орталық аймақта ірі діни орталықтар мен ғибадат нысандары жоқ. Сондай-ақ, соңғы уақытта сауда туризмі дамып келеді және оның себебі көрші аймақтарға қарағанда төмен бағалар. Туризмді дамытудың стратегиялық нұсқауларына сәйкес туризмнің даму деңгейіне тікелей әсер ететін бірқатар жүйелік нұсқаулықтарды бөліп көрсетуге болады, атап айтқанда:

1. Халықаралық туристік нарықта бәсекегеқабілетті туристік бағыттар. Туристік қызметтердің халықаралық нарығына кіретін ел басқа экономикалармен бәсекегеқабілетті. Елдің халықаралық туристік нарықтағы орны оның туристік саясатымен, тиімділігімен және іске асырылуымен анықталады. Бұл бағыт бойынша Қазақстан туристік нарықтағы тауашаны және сегментті нақты айқындап, іс-қимылдың стратегиялық жоспарын әзірлеуі қажет.

2. Аймақтық немесе жергілікті деңгейде туристік бағыттарды дамыту. Өңірлік туристік өнімдерді әзірлеу саласындағы көптеген инвестициялық жобалар осы саланың ашық болмауына, инфрақұрылымдық факторлардың үлкен ықпалына байланысты іске асырылмай қалып отыр.

3. Бағыттар негізінде кластерлік желі тәсілін әзірлеу осы тұжырымдама аясында бес негізгі туристік кластер бөлінді, қазіргі уақытта оларды қызмет сипатына байланысты кластер деп атауға болмайды. Демек, әлеуетті туристік кластерлер шеңберінде бағыттарды аймақтарға бөлуді жүргізу және осы аймақтарға бөлу нәтижелері негізінде кластерлеу стратегиясын әзірлеу қажет [4].

Қазіргі заманғы туристік индустрия экономиканың неғұрлым серпінді дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады.

Қарағанды облысындағы бірегей табиғи ресурстары, тиімді географиялық орналасуы және дамыған инфрақұрылымдық желісі және бай тарихи-мәдени мұрасы туризмнің барлық түрлерін дамыту үшін кең әлеуетті мүмкіндіктерді ашады.

Облысымызда туризмді дамыту үшін 3 өсу нүктесі айқындалған: бұл Балқаш курорттық аймағы, басым туристік аумақтардың ТОП-10-ына кіреді; Қарқаралы мен Ұлытау — туристификация картасының ТОП-50-іне кіреді. Бірінші кезектегі міндет — одан әрі құрылыс салу үшін инфрақұрылымды жетілдіру, қызмет сапасын арттыру.

2020–2021 жылдары Ұлытауда туристерге арналған үлкен орталық және Жошы ханның мүсіндік композициясымен және оның резиденциясымен, экспозициялық залымен 800 шаршы метр «Жошы хан» тарихи-мәдени кешенінің құрылысы аяқталды. Бұл нысандар қасиетті Ұлытау ауданына келетін туристерді тартатын орынға айналады.

2021 жылғы қаңтар-маусымда туристерге 250 нысан ұйымдастыру қызметтерін көрсетті: жайлылығы әртүрлі санаттағы қонақ үйлер, мотельдер, жазғы демалыс аймақтары мен лагерьлер, пансионаттар, демалыс үйлері мен басқа нысандар. Оларда 4676 нөмір бар және де олардың біржолғы сыйымдылығы 11964 төсек-орынды құрады. 2021 жылғы қаңтар-маусымда орналастыру орындарында 2020 жылдың тиісті кезеңімен салыстырғанда қызмет көрсетілген келушілердің саны 50,7 %-ға артты және 116,8 мың адамды құрады.

Орналастыру орындарының көрсеткен қызметтерінің көлемі өткен жылғы тиісті кезеңімен салыстырғанда 83,1 %-ға артты және 2028 млн. теңгені құрады (мейрамханаларды қоспағанда). Курорттық аймақтарда орналастыру орындарының саны 75 бірлікті құрады. Олар 508,2 млн. теңгеге қызмет көрсетті, бұл 2020 жылғы қаңтар-маусымға қарағанда 2,8 есеге артық.

Білім беру және мәдени туризмнен бастап тарихи орындарға бару және экотуризм сияқты белсенді туризмге дейін туризмнің алуан түрлерін дамыту үшін бірегей мүмкіндіктер ұсына отырып, Қарағандының туристік әлеуеті бай және алуан түрлі. Аң аулау және балық аулау туристер арасында өте танымал. Жергілікті контексте қоныс аударудың негізгі көрсеткіштерін белгілей алауға болады (1-кесте, 2–кесте).

Кесте 1

Қарағанды облысының орналастыру орындарының негізгі көрсеткіштері [3]

Көрсеткіштер	Жылдар				
	2018 жыл	2019 жыл	2020 жыл (қаңтар-маусым)	2020 жыл	2021 жыл (қаңтар-маусым)
Орналастыру орындары	253	250	242	247	250
Қызмет көрсетілген адам саны	280,7	319,7	77,5	199,9	116,8
Көрсетілген қызмет, млн. теңге	4310,8	4932,4	1107,7	4310,8	2028

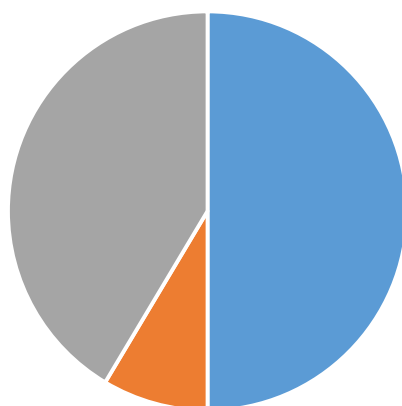
Кесте 2

Өңірлер бөлінісінде орналастыру орындарының көрсеткіштері [3]

Елді мекендерге	Орналастыру орындарының саны, бірлік	Қызмет көрсетілген келушілер саны, адам	Көрсетілген қызмет көлемі, мың теңге
Қарағанды облысы	250	116 800	2 028 016,3
Қарағанды қаласы	76	54 477	1 043 837,8
Балқаш қаласы	37	19 331	156 307,0
Жезқазған қаласы	13	6 775	116 327,2
Қаражал қ.э.	4	877	4 070,0
Приозер қаласы	8	1 020	67 618,0
Саран қаласы	3	156	930,0
Сәтбаев қаласы	3	3 213	20 151,0
Теміртау қаласы	24	6 642	114 924,6
Шахтинск қаласы	2	381	2 345,0
Абай ауданы	12	2 961	116 215,5
Ақтоғай ауданы	17	2 944	20 667,9
Бұқар жырау ауданы	8	4 021	74 800,0
Жаңаарқа ауданы	6	949	4 060,0
Қарқаралы ауданы	13	7 534	263 584,7
Нұра ауданы	3	1 851	4 720,0
Осакаров ауданы	5	2 355	7 994,9
Ұлытау ауданы	5	215	1 026,0
Шет ауданы	11	1 098	8 436,7

Туризм тарихындағы маңызды міндеттердің бірі — олардың тізбегі мен өзара байланысында саяхаттар мен ашылулардың бірыңғай тізбегін құру, қалпына келтіру және көбейту. Бұл мәселені шешу үшін біз тарихи білімге, қолданбалы географияға, этнографияға, мәдениеттануға, әлеуметтануға және юриспруденцияға сүйенуіміз керек. Туризм тарихы мындаған жылдар бойы алыс жерлер мен белгісіз жерлерді ашуға деген қызығушылығын жоғалтпаған саяхатшының адам бейнесін жасауға бағытталған, яғни Қарағанды облысында туристік бағыттың жаңа түрі бола алады.

Осылайша, туризмнің ішкі және сыртқы факторларының жоғары белгісіздігі мен өзгермелілігі жағдайында Қарағандыда туризмнің «жұмсақ» инфрақұрылымын тұрақты дамытудың аса маңызды аспектісі сервистік қызметтің тиімділігін арттыру, туристік-қонақ үй кешендерінде тұтынушыларға қызмет көрсетуді ұйымдастырудың қазіргі заманғы технологияларын енгізу болып табылады. Яғни курорттық аймақтар бөлінісінде түрлері бойынша орналастыру орындарының санын көрсетуге болады (2-сурет).



■ Қарағанды облысы ■ Қарқаралы курорттық аймағы ■ Балқаш көлінің жағалық аймағы

Сурет 2. Курорттық аймақтар бөлінісінде түрлері бойынша орналастыру орындары [3]

Қарағанды облысының туризм индустриясындағы проблемалардың көп аспектілігін ескере отырып, туристік саланың жекелеген кәсіпорындарына әлсіз тәуелді жалпы экономикалық проблемаларды шешуге назар аударылмайды. Туризм индустриясының барлық қызметтерінің ішінде қонақжайлылық қызметтері (орналастыру және тамақтандыруды ұйымдастыру) туристердің қызмет көрсету деңгейін қабылдауына үлкен әсер етеді (3-кесте).

К е с т е 3

Қонақжайлылық индустриясы қызметтерінің ерекшеліктері

Қызметтердің ерекшелігі	Қызметтер көрінісі
Сезілмеушілігі	Қызмет көрсетілгенге дейін оны бағалау қиын
Тұтынушының қатысуы	Қонақ қызмет көрсету процесіне тікелей қатысады, оның мазмұны мен ерекшеліктерін реттейді
Қызмет көрсету, жеткізу және тұтыну процестерінің байланысы	Орналастыру қызметтері тікелей орналасқан жерде жасалады және тұтынылады
Стандарттаудың күрделілігі және сапаның өзгергіштігі	Стандарттау тек қана орналастыру қызметінің техникалық сапасын анықтайтын қызметтің материалдық құрамдас бөлігіне қатысты мүмкін болады
Сақталмаушылығы	Орындалған қызметті жинақтау, сақтау, тасымалдау мүмкін емес
Меншік құқығының болмауы	Нөмірді уақытша қолдана отырып, қонақ нөмірдің өзіне де, оның мазмұнына да меншік құқығын алмайды

Туристік қызметтердің келесі мәселелері алдыңғы проблемалардан туындайды және адам ресурстарын басқарудың нәтижесі болып табылады. Осы бөлімнің мақсаты туристік қызметтерді ұсыну процесін ұйымдастыру болып табылады. Қызмет көрсетушілердің жұмысына этика, байланыс мәдениеті, жұмыс орнының эстетикасы және басқа да теориялық және практикалық қызметтер кіреді

[5]. Туризмдегі қызмет көрсетудің барлық аспектілерін зерттей отырып, Қарағанды облысының қызмет көрсетуді ұйымдастыру мәселелерін нақтылауға болады. Оларға мыналар жатады:

- туристік қызметтерді өндіру мәдениетінің сәйкессіздігі мәселелері;
- туризм индустриясы қызметкерлерінің жеке мәдениетінің жеткіліксіз деңгейі, әсіресе «байланыс аймағының» қызметкерлеріне қатысты;
- уәждеменің жеткіліксіздігі және көбінесе туристік қызметтерді көрсету мәдениетінің болмауы.

Туристік дестинация ретінде Ұлытауды Қазақстанның «Табиғат және қазіргі заман» туристік кластерлік құраушы құрылымы ретінде тандауға болады. Ұлытау — бұл Қазақстанның орталығында орналасқан, табиғи климаттық, емдеу-рекреациялық, сондай-ақ тарихи-мәдени ресурстарға бай бірегей табиғи кешен. Қарағанды облысының туристік орталығын дамыту және туристік нысандарды пайдалануды жеңілдету мақсатында тарихи орындарға, мәдениет ескерткіштеріне, сондай-ақ басталған жобалар жалғастырылуда. Мысалы, қалқандар, ыстық бұлақтары ауданындағы жол желісі қалпына келтіріліп, кеңейтілуде. Болашақта коммерциялық және ғылыми туризмді дамыту үшін көп функционалды форум орталығын салу, ойын-сауық қызметтерін кеңейту және жыл бойы курортты дамыту жоспарлануда. Тұтастай алғанда, мемлекет пен инвесторлардың күш-жігерінің шоғырлануын бағалай отырып, стратегиялық жоспарда Қарқаралы, Ұлытау курорттық аймақтары Азияның ірі туристік орталығы бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1 Рассохина Т.В. Научно-методологические аспекты формирования обобщающей динамической структурной модели управления устойчивым развитием туристской дестинации / Т.В. Рассохина // Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. — 2017. — № 7 (10). — С. 59–65.

2 Дуйсен Г.М. Рекреационное освоение регионов Казахстана в условиях вхождения в мировой туризм: теория, стратегия и практика / Г.М. Дуйсен. — Алматы, 2010. — 78 с.

3 Ұлттық статистика бюросы. 2021 жылғы Қазақстан Республикасындағы туризм түрлері бойынша қызмет көрсетілген келушілер саны [Электрондық ресурс]. Кіру режимі: <https://stat.gov.kz/official/industry/22/statistic/7>.

4 Никитинский Е.С. 20 лет Независимости Казахстана на пути устойчивого развития туристской индустрии / Е.С. Никитинский // Вестн. Университета «Туран». — 2011. — № 4. — С. 52–57.

5 Грела М.Ф. Государственная поддержка развития туристской отрасли Казахстана / М.Ф. Грела, Р. Беспяева // Экономика и статистика. — 2016. — № 2. — С. 109–115.

С.С. Жекенов, С.А. Талжанов

Социально-экономическая оценка развития сферы туризма в Карагандинской области

Сегодня проводится большая работа на республиканском и региональном уровнях по привлечению иностранных туристов в Казахстан. В Карагандинской области реализуются мероприятия в сфере имиджевой политики и популяризации туристских достижений области. Проблема совершенствования стратегического управления развитием туристской индустрии требует повышения интереса к исследованиям, характеризующим актуальность темы. В частности, не до конца решена проблема формулировки стратегии, не сформулированы стандарты и показатели эффективности стратегии развития туризма, не рассмотрена проблема измерения и разграничения влияния внешних и внутренних факторов на реализацию принятой стратегии, отсутствует эффективный механизм реализации принятой стратегии. В настоящей статье описан процесс развития туризма в Карагандинской области.

Ключевые слова: туризм, Карагандинская область, экономика, индустрия, развитие, государство, стратегия развития туризма.

S.S. Zhekenov, S.A. Talzhanov

Social and economic assessment of the development of tourism sphere in the Karaganda region

Today, a lot of work is being done at the republican and regional levels to attract foreign tourists to Kazakhstan. In the Karaganda region, the activities in the sphere of image policy and popularization of tourist achievements of the region are implemented. The problem of improving the strategic management of the development of the tourism industry requires increase of interest to the research characterizing the relevance of the topic. Particularly, the problem of strategy formulation has not been fully solved, standards and indicators of the effectiveness of the tourism development strategy have not been formulated, the problem of measuring and differentiating the influence of external and internal factors on the implementation of the adopted strategy has not been considered, and there is no effective mechanism for implementing the adopted strategy. This article describes the process of tourism development in the Karaganda region.

Keywords: tourism, Karaganda region, economics, industry, development, state.

References

- 1 Rassokhina, T.V. (2017). Nauchno-metodologicheskie aspekty formirovaniia obobshchaiushchei dinamicheskoi strukturnoi modeli upravleniia ustoichivym razvitiem turistskoi destinatsii [Scientific and methodological aspects of the formation of a generalizing dynamic structural model for managing the sustainable development of a tourist destination]. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 7 (10); 59–65 [in Russian].
- 2 Duisen, G.M. (2010). *Rekreatsionnoe osvoenie regionov Kazakhstana v usloviakh vkhozhdeniia v mirovoi turizm: teoriia, strategiia i praktika* [Recreational development of the regions of Kazakhstan in the conditions of entry into world tourism: theory, strategy and practice]. Almaty [in Russian].
- 3 (2021). *Ultyq statistika biurosy. 2021 zhylgy Qazaqstan Respublikasyndagy turizm turleri boiynsha qyzmet korsetilgen kelushiler sany* [National Bureau of Statistics. The number of visitors served by type of tourism in the Republic of Kazakhstan in 2021]. Retrieved from <https://stat.gov.kz/official/industry/22/statistic/7> [in Kazakh].
- 4 Nikitinskii, E.S. (2011). 20 let Nezavisimosti Kazakhstana na puti ustoichivogo razvitiia turistskoi industrii [20 years of independence of Kazakhstan on the way of sustained development of tourism industry]. *Vestnik Universiteta «Turan» — Bulletin of Turan University*, 4; 52–57 [in Russian].
- 5 Grela, M.F., & Bespaeva, R. (2016). Gosudarstvennaia podderzhka razvitiia turistskoi otrasli Kazakhstana [State support for the development of the tourism industry in Kazakhstan]. *Ekonomika i statistika — Economics and Statistics*, 2; 109–115 [in Russian].

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT AUTHORS

- Abidkulova Karime Tulegenovna** — Senior Lecturer, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Karime.Abidkulova@kaznu.kz
- Ablaikhanova Nurzhaniyat Tatukhanovna** — Candidate of Biological Science, Associate Professor of Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; nurzhanat.ablaihanova@kaznu.edu.kz
- Abaildayev Aset Orazalyuly** — Master, Researcher, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, Almaty, Kazakhstan; abaildayevaset@gmail.com
- Admanova Gulnur Bolatovna** — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of Biology Department, Head of Biology Department, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; admanova@mail.ru
- Aikenova Nuriya Yerkinovna** — Master of Technical Sciences, Lecturer of Department of Chemistry and Chemical Technology, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; twrpx99@mail.ru
- Alibekov Daniyar Toleuovich** — Master of Ecology, Astana Botanical Garden — the Branch of Institute of Botany and Phytointroduction, Nur-Sultan, Kazakhstan; dansilvaforest@mail.ru
- Aralbayeva Moldir Malikovna** — Bachelor, Junior Researcher of the Germplasm Cryopreservation Laboratory, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; berim.moldir@mail.ru
- Akhmetova Meruyert Zhanatovna** — PhD-student, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; meruzhan2@mail.ru
- Antipova Darya Dmitrievna** — Student, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; darya.dmitrivna@mail.ru
- Arkhipov Evgeniy Vladimirovich** — Candidate of Agricultural Science, Head of the Scientific Department, State National Natural Park “Burabay”, Burabay district, Kazakhstan; otdel_nauki@parkburabay.kz
- Asherbekova Laura Kuanishevna** — Bachelor of Biotechnology, Engineer, Scientific-Analytical Center “Biomedpreparat”, Stepnogorsk, Kazakhstan; Asherbekora_1@mail.ru
- Baibekova Aigerim Uakitkyzy** — Master of Technical Sciences, Assistant of Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; aiko_1995kz@mail.ru
- Bakhytuly Kanat** — Master of Biological Sciences, Research Assistant, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kanat1499@gmail.com
- Bakytzhankyzy Bakshagul** — Master of Natural Sciences; K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; bakshagul.94@mail.ru
- Batyrova Gulnara Arystangaliyevna** — PhD-student, Head of Department of Clinical Laboratory and Visual Diagnostics, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Kazakhstan; batyrovagulnara77@gmail.com
- Bayazitova Zulfiya Erzatovna** — Candidate of Biological Sciences, Professor at the Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; z_bayazitova@mail.ru
- Bazargaliyeva Aliya Aidarkhanovna** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; aliya_baz@inbox.ru

- Beisenova Raikhan Rymbaevna** — Doctor of Biology Sciences, Professor, Head of Department “Management and engineering in the field of environmental protection”, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan; raihan_b_r@mail.ru
- Bekpergenova Zhuldyzay Boronbayevna** — Master of Natural Sciences, Senior Lecturer at the S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan, zhuldyzai_bb@mail.ru
- Berikkyzy Aruzhan** — Master student, Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aruzhanberikkyzy20@mail.ru
- Blieva Raushan Kazhkenovna** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of Antigen, Almaty, Kazakhstan; raubil@mail.ru
- Childibayeva Asel Zhumagulovna** — Senior Lecturer of Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; a.zh.childebaeva@gmail.com
- Danilova Alevtina Nikolaevna** — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; an-danilova@yandex.ru
- Datkhatbayeva Gulnar Kubenovna** — Candidate of Biological Science, Senior Lecturer, Faculty of Biophysics, biomedicine and neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gaukhar_da@bk.ru
- Dodonova Alexandra Shavkatovna** — Candidate of Biological Science, Associate Professor of Department of Botany, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; sasha_dodonova1@mail.ru
- Duisenbek Ayauly Agabekkyzy** — PhD-student of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience department, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ayaulym040917@gmail.com
- Duisenova Nurzhaugan Ibraimovna** — Candidate of Biological Sciences, Head of the Floriculture Laboratory, Mangyshlak Experimental Botanical Garden, Aktau, Kazakhstan; nurzhaugan_84@mail.ru
- Esymsiitova Zura Berkutovna** — Candidate of Biological Science, Associate Professor of Zoology and Histology Department, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; zura.esymsiitova@kaznu.kz
- Fakhrudonova Idya Bulatovna** — Candidate of Biological Sciences, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; agrokgu@mail.ru
- Gani Shyngyskhan Mukhtaruly** — Master student, Senior Engineer of the Floriculture Laboratory, Mangyshlak Experimental Botanical Garden, Aktau, Kazakhstan; imangarden@mail.ru
- Ibatova Anara Askarovna** — Master of Biological Sciences, Research Assistant, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; anara_ibatova@mail.ru
- Isakova Elena Alekseevna** — Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; Lena12378@bk.ru
- Imanbayeva Akzhunis Altayevna** — Candidate of Biological Science, General Director, Mangyshlak Experimental Botanical Garden, Aktau, Kazakhstan; imangarden@mail.ru
- Inelova Zarina Arkenzhanovna** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty; zarina.inelova@kaznu.edu.kz
- Kakabayev Anuarbek Ayazbaevich** — Candidate of Biological Sciences, Professor at Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; anuarka@mail.ru
- Kaldykarava Akles Turdykulyzy** — PhD-student of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience Department, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; akles93@mail.ru
- Kali Almagul Kaliyevna** — Candidate of Biological Science, Head of Botany Department, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; a-aelbekova@mail.ru
- Kaliev Aigul Kokamanovna** — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; aigul_03@mail.ru
- Karipbayeva Nurziia Shaikenovna** — Candidate of Biology Sciences, Docent, International University of Astana, Nur-Sultan, Kazakhstan; karipbayeva.nurziya@gmail.com
- Katasheva Alma Chamaevna** — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer of Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; alma_81.kz81@mail.ru
- Keikin Ernar Kuatovich** — Master of Ecology, Senior Lecturer, Faculty of Biology and Geography, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; erk-09@mail.ru

- Kemalova Nazerke Kenzhalyevna** — Master of Natural Sciences; K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan; knk17@bk.ru
- Khakimzhanov Aidar Atymtaevich** — Candidate of Biological Sciences, Head Laboratory, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, Almaty, Kazakhstan; a.khakimzhanov@mail.ru
- Khasenova Akmaral Yertuganovna** — Master of Engineering and Technology, National Center of Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan; ak_ma_ral@mail.ru
- Khussainov Abilzhan Tokanovich** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; abil_tokan@mail.ru
- Kozhamzharova Latifa Seidakhmetova** — Candidate of Medical Science, Professor of Yessenov University, Aktau, Kazakhstan; erasl2006@mail.ru
- Kubentayev Serik Argyzbekovich** — PhD, Candidate of Biological Sciences, Astana Botanical Garden, Nur-Sultan, Kazakhstan; kubserik@mail.ru
- Kulaipbekova Akerke** — Master of Natural Science, Assistant of Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; ak04erke22@gmail.com
- Kupriyanov Andrey Nikolaevich** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department of the Kuzbass Botanical Garden of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo, Russia; kupr-42@yandex.ru
- Kurbatova Natalia Vladimirovna** — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kurbatova_nv77@mail.ru
- Kurmanbayeva Aigul Saparbekovna** — Candidate of Biological Sciences, Professor at Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; aygul6868@mail.ru
- Kurmanbaeva Meruert Sakenova** — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kurmanbayevakz@gmail.com
- Kushnarenko Svetlana Veniaminovna** — Professor, Candidate of Biological Sciences, Head of the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology of the Science Committee of the Ministry of Education and Science, Almaty, Kazakhstan; svetlana.bio@mail.ru
- Kuzovlev Vladimir Anatolyevich** — Candidate of Biological sciences, Leading Researcher, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, Almaty, Kazakhstan; vlad.kuzovlev@mail.ru
- Kyzdarova Damet Kanagatovna** — Senior Lecturer, Faculty of Biology and Geography, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; kyzdarova@bk.ru
- Mikhaylenko Natalya Vyacheslavovna** — Laboratory Assistant of the Germplasm Cryopreservation Laboratory of Institute of Plant Biology and Biotechnology of the Science Committee of the Ministry of Education and Science, Almaty, Kazakhstan; georgi-nata@mail.ru
- Mindubayeva Farida Anvarovna** — Doctor of Medical Sciences, Professor of Department of Morphology and Physiology, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; 7554422@mail.ru
- Mukhitdin Beibarys** — Bachelor Student of Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; beibarys00@gmail.com
- Myrzabayev Bakhizhan Myrzabaevich** — Master of Biotechnology, Junior Researcher, Scientific-Analytical Center “Biomedpreparat”, Stepnogorsk, Akmola region, Kazakhstan; baha.mirzabaev@gmail.com
- Nigmatullina Razina Ramazanovna** — Doctor of Biological Sciences, Professor of Department of Normal Physiology, Kazan State Medical University, Kazan, Russia; razinar@mail.ru
- Novak Yana Olegovna** — Master of Natural Sciences, Senior Lecturer, Department of Biology and Chemistry, A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan; novak_yuliya94@mail.ru
- Ongdassynova Damira Galymkyzy** — Master of Biological Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Master of BioWARE, University of Lorraine, Nancy, France; ondasynovadamira@gmail.com

- Polevik Vasilii Vladimirovich** — Candidate of Biology Sciences, Senior Researcher, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; vlada192002@mail.ru
- Sarsembin Umbetali Kuandykovich** — PhD, Senior Lecturer Faculty of Natural Sciences, Department of Ecology, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe Kazakhstan umbetali_s.k@mail.ru
- Shaikhutdinov Valentin Minzakievich** — Master of Environmental Sciences in chemistry, Senior Resercher Scientific-Analytical Center “Biomedpreparat”, Stepnogorsk, Akmola region, Kazakhstan; shaikhutdinov_v@mail.ru
- Shibaeva Aigerim Kairullaevna** — PhD, Leading Researcher, LLP “Research-analytical center “Biomedpreparat”, Stepnogorsk, Akmola region, Kazakhstan; shibaeva.aigerim@mail.ru
- Shulembayeva Kyzzhibek Mendibayevna** — Doctoral Student, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; sh.zhibek@mail.ru
- Sultangazina Gulnara Jalelovna** — Candidate of Biological Science, Professor, Head of Department of Biology and Chemistry, A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan; gul_sultan@mail.ru;
- Sumbembaev Aidar Aitkazeyevich** — PhD, Doctor Senior Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; Aydars@list.ru
- Steshenko Marina** — Master, A. Baitursinov Kostanay Reginal University, Kostanay, Kazakhstan; marina.steshenko.97.33@gmail.com
- Talzhанov Serikbolat Aldungaruly** — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Dean of Faculty of Biology and Geography, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; s_a_talzhанov@mail.ru
- Tolegen Nurkhanym Yerbolkyzy** — Master of Biological Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Master of BioWARE, University of Lorraine, Nancy, France; nurkhanymt@gmail.com
- Tsyplakov Dmitri Eduardovich** — Doctor of Medical Sciences, Professor of Department of General Pathology, Kazan State Medical University, Kazan, Russia; alla_1965_victorovna@mail.ru
- Tuleshova Kuralay Arystambaikyzy** — PhD-student, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; tuleshova.kuralay@mail.ru
- Turalin Bauyrzhan Alpysbayuly** — Lecturer of the Biology Department, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan; bauke_1982@mail.ru
- Tusupbekova Gulmira Ablaeвна** — Candidate of Medical Science, Associate Professor of Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Gulmira.Tusupbekova@kaznu.edu.kz
- Tykezhanova Gulmira Mengalievna** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Department of Physiology, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; gulmyra.tykezhanova@mail.ru
- Umarova Gulmira Arystangalievna** — Master of Medicine, Lecturer of the Department of Evidence-based Medicine and Scientific Management, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Kazakhstan uga_80@mail.ru
- Urgushbaeva Gulnur** — Master of Natural Science, Lecturer of Department of Ecology, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Kazakhstan; umbetali_s.k@mail.ru
- Yedilkhan Didar** — Associate Professor, Astana IT University, Nur-Sultan. d.yedilkhan@astanait.edu.kz
- Yelkenova Botakoz Zeinollaevna** — PhD-student, Department of “Management and engineering in the field of environmental protection”, Eurasian national University, Nur-Sultan, Kazakhstan; botagoz887@mail.ru
- Yermekov Altynbek Yerkenovich** — Master of Technical Sciences, Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan; altynbek.yermekov@astanait.edu.kz
- Yessenbekova Arailym Yessenbekkyzy** — PhD Student of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience department, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; arailmyessenbekova@kaznu.kz
- Ziyasheva Aiman Manarbekovna** — Master of Biology, PhD-student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ziyasheva.ayzada@gmail.com

- Nariman Kazbekulu** — Master of Environmental Sciences in Chemistry, Research Assistant, Scientific-Analytical enter “Biomedpreparat”, Stepnogorsk, Kazakhstan; nariman_zhappar@mail.ru
- Zhaparova Sayagul Beketovna** — Candidate of Technical Sciences, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan; zhaparova77@mail.ru
- Zhekenov Sayan Sauletuly** — PhD-student, Faculty of Biology and Geography, Karaganda University of the named of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; sayan_zhek@mail.ru
- Zhengissova Akmeiir Zhengiskyzy** — Master of Technical Sciences, Assistant of Department of Food, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; jenisova1996@mail.ru