



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

BULLETIN

OF THE KARAGANDA UNIVERSITY

BIOLOGY. MEDICINE. GEOGRAPHY

Series

№ 2(106)/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

№ 2(106)/2022

Сәуір–мамыр–маусым

30 маусым 2022 ж.

Апрель–май–июнь

30 июня 2022 г.

April–May–June

June 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. Кушнарченко,	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., РФА 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 29.06.2022 ж. қол қойылды. Пішімі 60×84 1/8. Қағазы офсеттік. Көлемі 26,38 б.т. Таралымы 200 дана. Бағасы келісім бойынша. Тапсырыс № 88.

«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 29.06.2022 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Объем 26,38 п.л. Тираж 200 экз. Цена договорная. Заказ № 88.

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

© Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова, 2022

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 Evolu- tion, 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 29.06.2022. Format 60×84 1/8. Offset paper. Volume 26,38 p.sh. Circulation 200 copies.
Price upon request. Order № 88.

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>Абуженова В.С.</i> Почвенная мезофауна черноольховых лесов Казахского мелкосопочника в условиях рекреационной и пастбищной дигрессии	7
<i>Азнабаева Р.Б., Тургимбаева А.М., Зейн Ұ.Ө., Абельденов С.К.</i> Пептидные последовательности для белок-белковых взаимодействий скользящего зажима	18
<i>Amirkhanova Zh., Bodeeva R., Akhmetova S., Kozhakhmetov S.S., Kushugulova A., Akhvediani L.</i> Influence of flax seeds on the reproduction rate of lactic acid bacilli when used in the experiment	26
<i>Arystanbay A.A., Zhumina A.G., Klunnaya V.O.</i> Vitamin D and its influence on human immune system	34
<i>Баубекова А.К., Абиев С.А., Асылханова Р.З.</i> Бактериялық обырдың таза штамын алып ағаш тектестерге инфекциялық белсенділігін <i>in vitro</i> жағдайында зерттеу	46
<i>Бутумбаева М.К., Силантьева М.М., Тыржанова С.С., Норцева М.А., Турлыбекова Г.К.</i> Современное состояние популяций и ресурсы <i>Salvia stepposa</i> в Центральном Казахстане	55
<i>Гаврилькова Е.А., Тлеуженова С.У., Мусина Р.Т., Қали А.К.</i> Влияние физических факторов на жизнеспособность семенного материала <i>Echinacea purpurea</i> сорт «Ливадия»	62
<i>Жигайлов А.В., Остапчук Е.О., Перфильева Ю.В., Абдолла Н., Мальцева Э.Р., Найзабаева Д.А., Куатбекова С., Машижан А., Низкородова А.С., Бердыгулова Ж.А., Скиба Ю.А., Мамадалиев С.М.</i> Анализ рисков распространения катаральной лихорадки овец в Казахстане	71
<i>Кеишилов Ж.С., Кохметова А.М., Кумарбаева М.Т., Жанузақ Д.К., Рсалиев Ш.С.</i> Бидайдың сары тат (<i>Puccinia striiformis</i> f.sp. <i>tritici</i>) ауруына Алматы облысы бойынша 2019–2021 жылдары жүргізілген мониторингі	82
<i>Мадиева А.Н.</i> Сравнительный анализ кормовой ценности сортов суданской травы в условиях Карагандинской области	89
<i>Мамыкова Р.У., Джамалова Г.Т., Битемирова А.Е., Акинбекова Ж.В., Орынбай Ж.Е.</i> Анатомическое строение язычкового цветка <i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	95
<i>Meuratom G.G., Korchin V.I., Kohnert K.D., Shaybek A.Z., Abikenova F.S., Meyramova A.G.</i> The biological role of zinc in the pancreas, prostate and in submandibular glands and influence of its complex salts with chelators on the state of glands tissue	103
<i>Polivkina Ye.N., Subbotina L.F., Zhamaldinov F.F.</i> Investigation of tritium assimilation by sunflower crop at uptake through root	111
<i>Усенбеков Б.Н., Амирова А.К., Беркимбай Х.А., Жанбырбаев Е.А., Казкеев Д.Т., Жайсанкулова У.Б., Сартбаева И.А.</i> Оценка исходного материала для получения риса с высоким содержанием амилозы	118
<i>Федоров А.А., Есжанов А.Б.</i> Новые сведения по распространению скорпионов рода <i>Anotalobuthus</i> в Казахстане	127

МЕДИЦИНА MEDICINE

<i>Parakhina V., Laryushina Ye.M., Ponamareva O.</i> Association between Endocan, PAI-1 and intima media thickness in patients with high diabetes risk	134
<i>Дюсембаева Н.К., Калиева Ш.С., Юхневич Е.А., Мясникова Ж.В.</i> Клинические испытания лекарственных средств у беременных. Обзор	145

**ГЕОГРАФИЯ
GEOGRAPHY**

<i>Bityukova V.R.</i> Ecological and economic assessment of the ecological situation transformation in the Republic of Kazakhstan regions in 1990–2020	154
<i>Чистякова Г.Н., Салыкбаева Г.М., Досмахов С.М., Кожакметова Л.Т., Кулмаганбетова А.О.</i> Растениеводство Северо-Казахстанской области как основа сельскохозяйственного кластера и обеспечения продовольственной безопасности населения	168
<i>Dekhnich V.S., Dronin N.M.</i> Factors of city private transport decarbonization	178
<i>Khoroshev A.V., Kalmykova O.G., Ashikhmin A.P.</i> Hydrothermal conditions of the temporal variability of the phytoproductive functioning: case study of the Burtinskaya steppe landscape (Southern Urals)	191

**МЕРЕЙТОЙ ИЕСІ
К ЮБИЛЕЮ
ANNIVERSARY**

К 75-лѣтнему юбилею известного ученого, доктора медицинских наук, профессора Карагандинского университета им. акад. Е.А. Букетова Мейрамова Габита Габдуллоевича	203
Зимняя школа–2022 «Организация Гербарных фондов для устойчивого управления биоресурсами»	205
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР — СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ — INFORMATION ABOUT AUTHORS	207

В.С. Абуkenова*

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

*Автор для корреспонденции: abu-veronika@yandex.kz

Почвенная мезофауна черноольховых лесов Казахского мелкосопочника в условиях рекреационной и пастбищной дигрессии

Изучалась почвенная мезофауна черноольховых лесов Казахского мелкосопочника, как показатель функциональных особенностей насаждений *Alnus glutinosa* на юго-восточной границе ареала. Леса не образуют массивов большой площади и связаны с типом рельефа, долинами ручьев и речек, глубиной залегания грунтовых вод. О древнем происхождении и важном значении черноольшаников, как рефугиумов, свидетельствуют реликтовые виды флоры и фауны. Под влиянием рекреационной нагрузки и выпаса лесные сообщества изменяются, что требует скорейшей оценки состояния наземных биоценозов. Установлено, что черноольховые леса мелкосопочника характеризуются высокой общей биомассой мезофауны (от 13,6 г/м² до 42,1 г/м²), где более 85 % зоомассы приходится на сапрофильный комплекс. Плотность почвенного населения значительна (от 272,6 экз/м² до 503,55 экз/м²), т.е., в целом, леса сохраняют черты зональных широколиственных формаций. Выявлены антропогенные изменения структуры педобионтов в черноольшаниковых ассоциациях, находящихся на разных стадиях рекреационной и пастбищной дигрессии. Наблюдается последовательное уменьшение индекса плотности почвенного населения ($P=145,6; 80,19; 69,7$) и доли лесных видов. Отмечены смена жизненных форм и их соотношений в модельных (*Carabidae*) и доминирующих (*Lumbricidae*) группах, рост численности зоофагов, снижение общего обилия и обеднение видового состава сапрофагов. Почвенная мезофауна отражает в своей структуре биоценологическое своеобразие реликтовых черноольшаников степной зоны и сукцессию биоценозов.

Ключевые слова: почвенная мезофауна, люмбрициды, черноольховые леса, рекреационная дигрессия, Казахский мелкосопочник.

Введение

Ландшафтно-экологические особенности Казахского мелкосопочника создают условия для формирования уникальных природных фитоценозов с высоким биоразнообразием, значительно отличающихся от зональных. В рефугиальных зонах сохранились неморальные и бореальные реликты прошлых геологических эпох. Высоким разнообразием отличается биота почв, важнейший компонент наземных экосистем и индикатор их изменения в настоящем и прошлом. Наличие специфических «биомаркеров» из числа педобионтов позволяет судить о динамике климатических, эдафических, биотических изменений, истории формирования ландшафтов и биоценозов.

Среди уникальных экосистем Казахского мелкосопочника большой интерес представляют черноольшаники, растительные сообщества с особым режимом увлажнения в долинах ручьев и поймах небольших речек. Это самые южные местообитания ольхи черной, естественный ареал которой обширен, но дизъюнктивен. Фитоценозы *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn представляют наиболее древний тип лесной растительности, прежде широко распространенной [1–3]. В настоящее время сохранились участки коренных субклимаксовых черноольшаников в Баянаульско-Каракаралинских и Нияз-Ерментауских низкогорьях, где места произрастания реликта палеогенового периода *A. glutinosa* от-

носятся к охраняемым территориям национальных природных парков Баянаульский и Буйратау. Широколиственные приручьевые леса имеют средообразующую функцию. Создавая мозаичность условий и усиливая разнообразие экотопов, выполняя почвозащитную и водоохранную роль, они участвуют в сохранении и поддержании биоразнообразия флоры и фауны.

Островные нагорные леса, согласно результатам почвенно-зоологических исследований в Каркаралинских низкогорьях, являются рефугиумами общеевропейских элементов и элементов западно-палеарктического фаунистического комплекса [4, 5].

Информация о почвенной фауне черноольховых лесов низкогорий весьма скудна. Целью наших исследований было сравнительное изучение населения почвенных беспозвоночных в ряду рекреационной дигрессии фитоценозов ольхи черной в Казахском мелкосопочнике.

Район исследования и пробные площади

Казахский мелкосопочник входит в состав мощного степного флоро-ценотического центра — Алтайско-Монгольской области, сыгравшего значительную роль в формировании степной флоры Евразии. С миоцена по плиоцен растительность этой территории приобрела характер хвойного леса, сложились благоприятные условия для проникновения в мелкосопочник бореальных элементов флоры из северной части Западно-Сибирской равнины, с Алтая и с Южного Урала [6, 7].

Большинство бореальных реликтов встречается в мелкосопочнике спорадически, занимая в растительных сообществах подчиненное положение, но ольха черная выступает в роли доминанта, образуя ленточные леса в долинах ручьев. В аридных условиях степной зоны фитоценозы ольхи черной существуют и в заболоченных, и в суходольных местообитаниях. Современная площадь черноольшаников составляет около 500 га. Наряду с ольхой черной в ценозах представлен комплекс кустарниковых бореальных реликтов (*Ribes nigrum*, *R. hispidulum*, *Viburnum opulus*) и травянистых (*Pyrola rotundifolia*, *Matteuccia struthiopteris*, *Athyrium filix-femina*, *Heracleum sibiricum*, *Circaea alpina* и др.).

Лесные массивы подвергались антропогенному прессу, и не нарушенных черноольшаников практически не сохранилось. Наибольшее влияние на сообщества ольхи черной оказали выпас крупного рогатого скота, а также вырубка деревьев и вытаптывание. Реликтовые черноольшаники в Центральном Казахстане представлены ассоциациями, находящимися на разных стадиях рекреационной и пастбищной дигрессии [8, 9].

Слабо нарушенный черноольшаник страусниковый (I) — в составе травостоя доминируют страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris*) и чистотел большой (*Chelidonium majus*). Страусник обыкновенный характерен для лесной зоны и плохо переносит выпас. Почвы дерново-глеевые суглинистые, увлажнение обильное, интенсивно-проточное.

Черноольшаник будровый (II) — в травяном ярусе доминируют будра плющевидная (*Glechoma hederacea*) и гравилат городской (*Geum urbanum*). Состав почв и режим увлажнения близки предыдущим. По экологическим условиям группа дифференциальных видов отнесены ко второй стадии пастбищной деградации. Число синантропных видов в составе травяного покрова возрастает; некоторые из них (*Urtica dioica*, *Chelidonium majus*, *Glechoma hederacea*, *Galium verum*) выходят на позицию кодоминантов, проективное покрытие 5–25 % или 25–50 %. Количество бореальных реликтов в составе травостоя 8–10 видов.

Увеличение рекреационных и пастбищных нагрузок приводит в местообитаниях с интенсивно-проточным увлажнением к формированию черноольшаников крапивных (III). Почвы дерново-перегнойно-глеевые суглинистые. Доля бореальных реликтов снижается до 3–7 видов, а синантропных видов возрастает до 15–29. На территории Баянаульского национального парка встречаются черноольшаники всех приведенных выше типов. В национальном парке Буйратау сохранились только сильно нарушенные леса из ольхи черной.

Методы и материалы

Материалами для данной работы послужили результаты сборов, проводимых в разное время на территории национальных парков. Экспериментальные участки закладывались в трех ассоциациях черноольшаников на дерново-глеевых почвах, производных от общего типа, существовавшего 200–250 лет назад. В ряду биоценозов выражена тенденция разреживания древостоев, ослабления позиции лесных видов, синантропизация растительности, уменьшения мощности подстилки, ослабления процессов дернования. Количественные сборы и учеты выполнены по общепринятой методике почвенных раскопок [10]. Размер почвенных проб — 50x50 см. Разборка проводилась вручную, послойно.

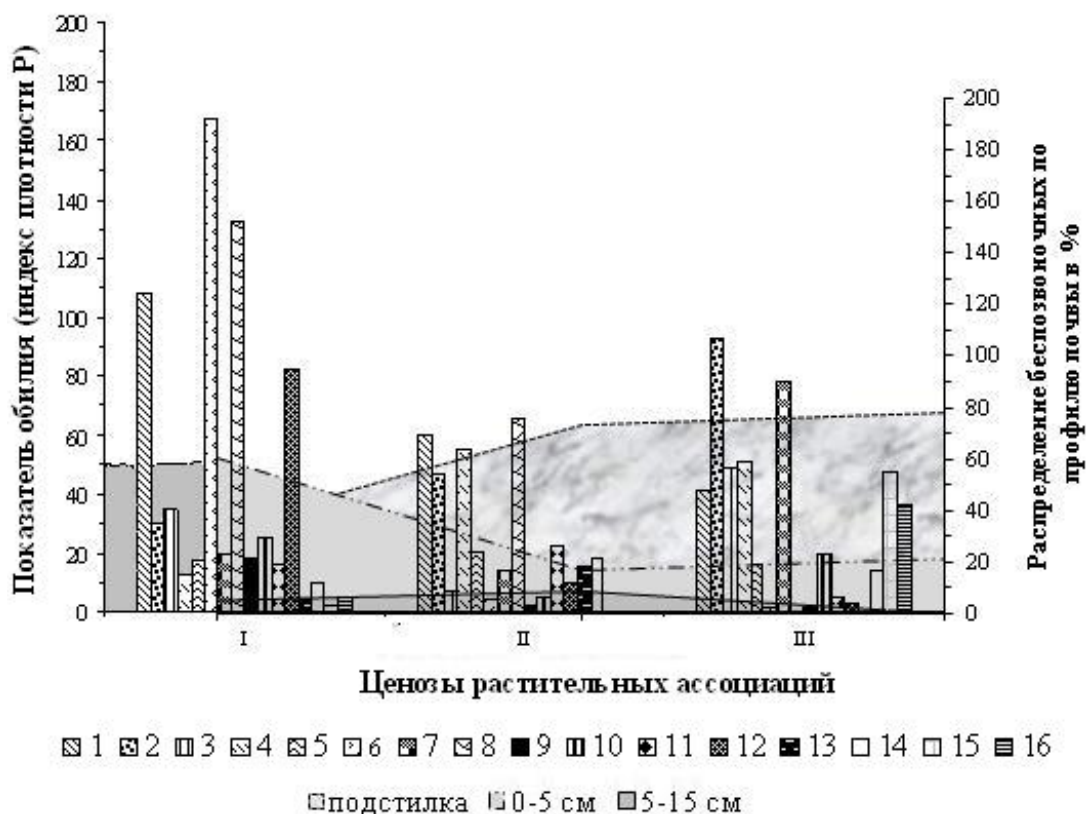
Сначала учитывали червей и других беспозвоночных, находящихся в подстилке, затем разбирали верхний слой (0–5 см) почвы, после чего также по слоям проводилась разборка почвы до глубины встречаемости педобионтов. Число проб при каждом обследовании было не менее 16 (май–октябрь). Для анализа привлечен также материал отлова ловушками Барбера.

Материал фиксировался 90 %-ным этиленгликолем. Показатели численности и биомассы даны в среднем за вегетационный период. Трофическую специализацию доминирующих видов и групп почвенных беспозвоночных устанавливали согласно литературным данным [11, 12]. Из показателей обилия использовался индекс плотности населения соответствующей группы (P). Фаунистическое сходство комплексов оценивалось с помощью индекса Жаккара (K_j) [13]. При определении лямбрицид и для характеристики морфо-экологических форм использовали соответствующие руководства и определительные таблицы [14, 15]. Жизненные формы жуелиц даны по системе И.Х. Шаровой [16].

Статистическую обработку материалов проводили с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Мезофауна почв в черноольшанике страусниковом (I) представлена 11 отрядами и 39 семействами. Общая численность беспозвоночных 503,55 экз./м², биомасса 42,1 г/м². Кольчатые черви семейства *Lumbricidae* составляют 59,34 % всей фауны по числу особей и 92,52 % по биомассе (рис. 1). Среди членистоногих численно доминируют отряды *Coleoptera*, *Aranei*, *Diptera*. По обилию среди жесткокрылых преобладают *Curculionidae* (67,1 экз./м²), *Scarabaeidae* (22,75 экз./м²), *Staphilinidae* (11,5 экз./м²), демонстрируя и высокие показатели индекса плотности населения ($P=167,3$; 133,04; 19,91).



Систематические группы: 1 — *Lumbricidae*; 2 — *Aranei*; 3 — *Lithobiidae*; 4 — *Hemiptera*; 5 — *Carabidae* (i, l); 6 — *Curculionidae* (i, l); 7 — *Staphilinidae* (i, l); 8 — *Scarabaeidae* (i, l); 9 — *Elateridae* (i, l); 10 — *Silphidae* (i, l); 11 — *Formicidae*; 12 — *Tipulidae* (l); 13 — *Bibionidae* (l); 14 — *Tabanidae* (l); 15 — *Sciaridae* (l); 16 — *Syrphidae* (l); i — имаго; l — личинки

Рисунок 1. Структура мезонаселения, обилие беспозвоночных и распределение по профилю почв в ценозах черноольшаниковых ассоциаций: I — черноольшаник страусниковый; II — черноольшаник будровый; III — черноольшаник крапивный

Личинки *Curculionidae* размещаются в почвенном слое 0–5 см. Встречаясь в 92 % почвенных проб, они свидетельствуют о высокой задернованности почв в этом типе леса. Наиболее многочислен *Polydrusus (Eudipnus) mollis* (Stroem, 1768) из группы дендротамнобионтов, лесной многоядный вид, предпочитающий стабильный почвенный режим. Трофически приурочен к растениям из семейств *Betulaceae* (в составе примеси к основному древостою) и *Rosaceae* (в составе подлеска) в биотопе.

Личинки пластинчатоусых жуков *Scarabaeidae* также чувствительны к колебаниям водно-теплового режима и не встречаются в подстилке, сосредоточиваясь на глубине 5–10 см. Превалирующим видом среди них является обитатель степной, лесостепной и таежной зоны, многоядный вредитель *Serica brunnea* (Linnaeus, 1758), обнаруженный в 82 % проб. Средняя численность вида довольно высока — 19,6 экз./м². Обычны также представители рода *Aphodius*.

Разнообразие коротконадкрылых жуков невелико. Характерны мелкие формы *Staphilinidae* (P = 19,91), приуроченные к микрообитаниям в подстилке и поверхностном слое почвы.

Методы почвенно-зоологических исследований дают возможность выявить распределение доминантных видов *Carabidae*, как индикаторов рекреационного воздействия [17–20]. В ценозах черноольшаника страусникового зарегистрировано 14 видов жужелиц из 10 родов. Индекс плотности населения P = 17,34.

В спектре жизненных форм доминировали зоофаги стратобионты-скважинки подстилочные. Доля видов этой группы составляла до 30 %. Чаще других встречались лесо-болотные *Eraphius secalis* (Paykull, 1790) и *Pterostichus (Phonias) strenuus* (Panzer, 1797) виды европейско-сибирского ареала.

В этом лесном биоценозе разнообразна и другая группа — стратобионты зарывающиеся подстильно-почвенные, доля этих видов около 50 %. Доминирует *Pterostichus (Bothriopterus) oblongopunctatus* Fabricius, 1787, лесной зоофаг широкого транспалеарктического ареала. Кодоминант — *Pterostichus (Platysma) niger* (Schaller, 1783), европейско-сибирский лесной вид. Лесными являются 64,3 % зарегистрированных видов, остальные относятся к лугово-полевым и луговым. Европейско-сибирских видов не более 28,6 %.

Предыдущим семействам жесткокрылых близки по обилию *Coccinellidae* (P = 16,79) и *Elateridae* (P = 17,74), обитатели подстилки и верхних почвенных горизонтов.

Из отряда двукрылых (*Diptera*) в почвенных пробах по биомассе доминировали личинки комаров-долгоножек *Tipulidae* (8,25 экз./м²; 0,82 г/м²). В 75 % проб отмечены виды родов *Tipula (Tipula varipennis* Meigen, 1818) и *Nephrotoma*. Прочие личинки сапрофаги малочисленны (0,13–0,87 экз./м²). Хищные личинки двукрылых из семейств *Therevidae*, *Tabanidae*, *Dolichopodidae* найдены в 25–50 % проб со средней общей численностью 5,25 экз./м².

Среди других учтенных групп, непосредственно связанных с лесной подстилкой, регулярно встречаются многоножки-костянки (*Lithobiidae*). В местах скопления подстилки обнаружен панпалеарктический полизональный эвритопный вид *Monotarsobius curtipes* (C. Koch, 1847), весьма требовательный к условиям влажности и предпочитающий лесные местообитания, в которых является одним из доминантов в сообществах педобионтов. Средняя численность *M. curtipes* в пробах 15,6 экз./м². Большая часть почвенного населения (более 93 %) в черноольшаниковых ассоциациях I в течение вегетационного периода сосредоточена в лесной подстилке и верхнем почвенном слое до 5 см. В горизонтах почвы 5–15 см зарегистрированы личинки жесткокрылых и люмбрициды (6 %). Глубже 15 см отмечается единичная встречаемость.

В трофической структуре сообщества беспозвоночных преобладают сапрофаги (94,56 %). Основными активными гумификаторами лесной подстилки в этом биоценозе являются люмбрициды. Как значимых сапрофагов можно также рассматривать личинок двукрылых сем. *Tipulidae* и *Bibionidae*. Доля фитофагов — 3,39 %, в основном это жуки-долгоносики (*Curculionidae*) и пластинчатоусые (*Scarabaeidae*). Хищники составляют 1,54 % всех зарегистрированных обитателей, это разнообразные пауки и виды семейств *Lithobiidae*, *Staphilinidae*, *Carabidae*, *Tabanidae* и др. Соотношение трофических групп показывает, что педобионты активно включены в детритную пищевую цепь биоценоза.

Почвенное население в черноольшанике будровом (II) включает 10 отрядов, 33–36 семейств. Общее обилие почвенных беспозвоночных несколько уменьшилось по сравнению с предыдущим ценозом (272,6 экз./м²; биомасса 23,59 г/м²). Позицию доминантов среди педобионтов сохраняют люмбрициды. На них приходится 60,56 % общей численности и 93,51 % средней биомассы. По плотности населения выделяются жесткокрылые (29,25 экз./м²; 0,76 г/м²), полужесткокрылые (22,88 экз./м²;

0,13 г/м²) и пауки (19,1 экз./м²; 0,12 г/м²) (рис. 1). Из жесткокрылых наиболее обильны *Scarabaeidae* (P = 65,24), *Carabidae* (P = 20,25), *Staphylinidae* (P = 13,81).

В сообществе II зарегистрировано 8 видов жуличиц из 6 родов. Из группы зоофаги стратобионты-скважники подстилочные чаще других отмечался эвритопный *Calathus melanocephalus* (Linnaeus, 1758), лугово-полевой вид транспалеарктического полизонального ареала. *C. melanocephalus* — типичный обитатель рудеральных сообществ, характерен для открытых пространств и рекреационных насаждений. Снижением численности на изменение проективного покрытия и мощности лесной подстилки реагирует *E. secalis*. На позиции кодоминанта переходит лесной вид *Pt. oblongopunctatus* из группы стратобионты зарывающиеся подстильно-почвенные.

Появляются немногочисленные виды открытых ландшафтов. Часть из них относится к группе стратобионтов-скважников поверхностно-подстилочных: *Notiophilus aquaticus* (Linnaeus, 1758), голарктический луговой *Agonum sexpunctatum* (Linnaeus, 1758), трансевразийский; лугово-болотный. К луговым видам относится также и *Dyschirius globosus* (Herbst, 1784), голарктический вид из группы геобионтов роющих. Лугово-полевых жуличиц миксофитофагов представляет европейско-сибирский вид *Anisodactylus binotatus* (Fabricius, 1787), геохортобионт гарпалоидный.

Виды открытых ландшафтов отражают процессы олуговения данного типа леса. Доля лесных видов — 62,5 %, остальные относятся к видам открытых пространств.

Обилие *Diptera* невелико (P=2.4). Самыми многочисленными из двукрылых были личинки семейств *Bibionidae* (3,75 экз./м²), *Dolichopodidae* (2,25 экз./м²) и *Tabanidae* (2,13 экз./м²).

Коэффициенты плотности населения отрядов *Hemiptera* и *Aranei* близки (1,72; 1,51). Среди полужесткокрылых фоновыми обитателями подстилки были *Drymus sylvaticus* (Fabricius, 1775) и *Drymus brunneus* (R. Sahlberg, 1848), полифитофаги семейства *Lygaeidae* с ареалами западного бореально-субтропического и транспалеарктического бореально-субтропического типа. В листовой подстилке наиболее влажных местообитаний чаще встречается *D. brunneus*. Эти виды с широкими бореальными ареалами являются связующим звеном между различными экосистемами. Способность заселять экотонные биотопы позволяет им оставаться стабильными компонентами фаунистических комплексов лесных экосистем разных природных зон [21].

Распространение многоножек-костянок в сообществе, согласно частоте встречаемости (66 %), менее однородно, их численность (2,75 экз./м²) оказалась значительно ниже, чем в предыдущем типе леса, отражая мозаичность условий влажности и сохранности подстилки.

В черноольшанике будровом почвенные беспозвоночные заселяют подстилку и верхние почвенные горизонты до глубины 5 см. Разнообразие беспозвоночных уменьшается при переходе к нижележащим слоям почвы, где на глубине 10 см обнаружены только собственно-почвенные дождевые черви и *Mermithidae*.

Всех идентифицированных беспозвоночных можно отнести к трем основным трофическим группам, а также выделить группу «смешанной специализации». Преобладают, как и в предыдущем типе леса, сапрофаги (94,1 %). В основном это дождевые черви. В соответствии с пищевыми предпочтениями доминирующих видов семейств *Curculionidae*, *Scarabaeidae*, отряда *Hemiptera* и других, группа фитофагов в общей структуре ценоза составляет 13,17 % по численности и 3,05 % по биомассе обитателей почвы. Численная доля зоофагов увеличивается до 21,46 % (2,76 % общей биомассы). Основная масса хищных форм представлена видами отрядов *Aranei*, а также семейств *Lithobiidae*, *Carabidae*, *Staphylinidae*, *Formicidae*.

В почвенных пробах черноольшаника крапивного (III) найдено 357,38 экз./м² беспозвоночных общей биомассой 13,6 г/м², относящихся к 12 отрядам и 37 семействам. Дождевые черви составляют 39,7 % численности и 86,03 % биомассы почвенной фауны. Фоновыми отрядами членистоногих являются *Coleoptera* (58,49 экз./м²), *Aranea* (54,5 экз./м²), *Diptera* (38,38 экз./м²), *Hemiptera* (30,1 экз./м²). В ценозах этого типа леса определено 14 семейств жесткокрылых, наиболее многочисленны представители *Staphylinidae* (43,38 экз./м²).

Жуличицы (*Carabidae*) встречаются в 63 % проб, средняя численность 4,25 экз./м². Среди девяти видов, найденных в черноольшанике крапивном, наиболее обычен бореальный лесной *Carabus granulatus* Linnaeus, 1758, зоофаг эпигеобионт ходящий. Значительно реже, чем в черноольшанике страусниковом, встречается лесной европейско-сибирский вид *Pt. niger* (Schaller, 1783).

В черноольшанике крапивном, наряду с видами открытых пространств, зарегистрированными в черноольшанике будровом, встречается луговой *Notiophilus palustris* (Duftschmid, 1812), стратобионт-скважник поверхностно-подстилочный европейско-сибирского ареала.

К европейско-сибирскому виду принадлежит и эвритопный миксофитофаг геохортобионт *Harpalus rufipes* (De Geer, 1774), мезофил, весьма характерный для нарушенных человеком экосистем и агроценозов [22]. Лесные виды составляют 55,6 %.

Почвенные личинки двукрылых в черноольшанике крапивном относятся к девяти семействам, средняя численность зоофагов — 20,6 экз./м², сапрофагов — 44,2 экз./м². Значительно обилие представителей семейств *Sciaridae* (P = 47,63), *Syrphidae* (P = 36,73), *Tabanidae* (P = 13,94).

В ценозах черноольшаниковых ассоциаций III большая часть педобионтов обитает в подстилке. Значительно регулярнее, чем в черноольшанике будровом, в пробах встречается многоножка *M. curtipes* (95 %), а ее численность увеличилась до 19,6 экз./м². Менее заселен первый почвенный слой (0–5 см), где членистоногие составляют 21,3 % учтенных беспозвоночных. Глубже 5 см мезопедобионты не зарегистрированы.

Действие рекреационных факторов и выпаса в черноольшанике крапивном вызывает замедление процессов разложения растительных остатков и дернования. Умеренный выпас способствует сохранению структуры почвы, а, следовательно, и мезофауны [23]. Периодические затопления также определяют заселенность подстилки.

В трофической структуре почвенных беспозвоночных возросла численная доля зоофагов (41,27 %). Доля фитофагов составила 9,79 %, сапрофагов — 46,5 %. Биомасса сапрофагов остается высокой — 87,96 %.

В составе сапроблока почвенной мезофауны исследованных фитоценозов наибольшее влияние на круговорот биогенных элементов и динамику почвенных процессов оказывают дождевые черви. Их биомасса составляет от 87 % до 95 % общей зоомассы в почве. В условиях черноольшаников мелкосопочника дождевые черви разлагают растительный опад до гумуса, большая часть которых относится к типу *Lumbricidae*. Их можно рассматривать как ключевые виды, в соответствии с их ролью в почвенной биодинамике. К средообразующей деятельности дождевых червей относится интенсификация биологических реакций и активизация минерализационных процессов в почве в результате обогащения лесной подстилки богатыми гумусом и водопрочными копролитами. Люмбрициды модифицируют среду обитания представителей почвенной фауны, структурируя почву, создавая зоогенные ниши для микрофлоры и др. [24–26].

Сравнительный анализ видового состава *Lumbricidae* показал, что в черноольшанике страусниковом многочисленны виды, питающиеся на поверхности почвы: *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826) и *Dendrodilus rubidus tenuis* (Eisen, 1874) (рис. 2).

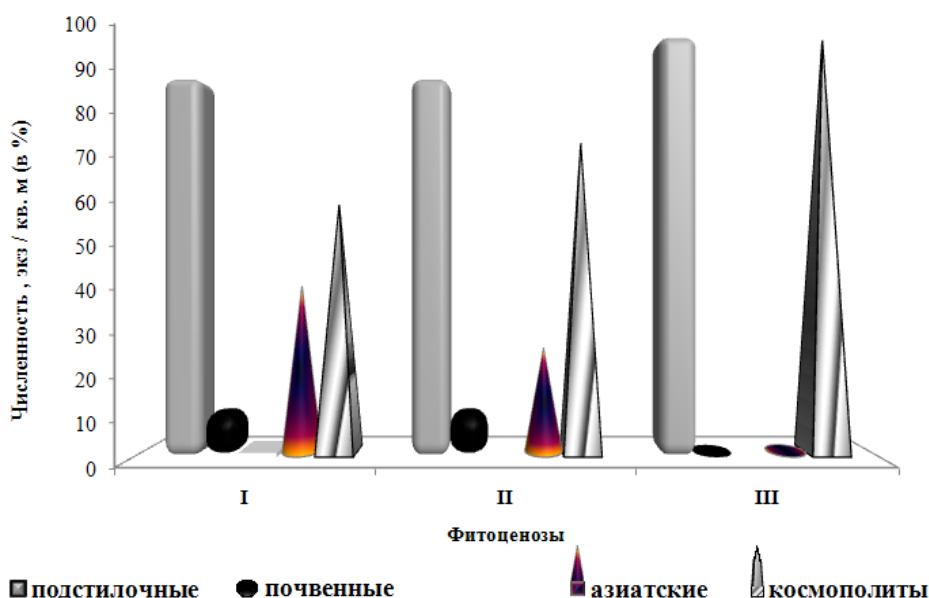


Рисунок 2. Соотношение (в %) морфо-экологических и хорологических групп люмбрицид в ценозах черноольшаниковых ассоциаций: I — черноольшаник страусниковый; II — черноольшаник будровый; III — черноольшаник крапивный

Достаточно редок подстилочный *Allolobophora parva* Eisen, 1874, представитель древнего рода, сформировавшегося еще в мезозое и включающего многие эндемичные виды Южного Казахстана [12]. Виды, питающиеся почвенным перегноем, составляют 10 % люмбрицид в ценозах I (*Eisenia nordenskioldi pallida* Malevič, 1956; *Aporrectodea caliginosa caliginosa* (Savigny, 1826)).

В черноольшанике будровом плотность населения люмбрицид почти в 2 раза ниже, чем в страусниковом, но соотношение видов и долей жизненных форм почти не меняется. Закономерно отсутствие в черноольшаниковых сообществах II вида *A. parva*, известного как обитателя ненарушенных природных ценозов Центральной и Юго-Восточной Азии [13].

В черноольшанике крапивном наблюдается уменьшение общей доли сапрофагов, в частности, биомассы и численности люмбрицид. Встречен только подстилочный кислотолюбивый вид *D. octaedra*. Черви образуют небольшие скопления вблизи скальных обнажений, вдоль ветвящихся русел мелких ручьев, у комля дерева.

В почвах широколиственных лесов европейской части Евразии ключевая роль в переработке опада принадлежит личинкам насекомых, дождевым червям, диплоподам, мокрицам [27–29]. В бореальных мезофильных южно-таежных геомах типичными доминантами являются олигохеты [30–32]. Отличительными чертами люмбрикофауны исследованных нами сообществ *Alnus glutinosa* на юго-восточной границе ареала в степной зоне являются: высокая плотность населения, наличие автохтонных азиатских видов (*E. nordenskioldi* и *A. parva*), сохранение бореальных видов (*E. n. pallida* и *D. octaedra*).

Заключение

В ассоциациях черноольшаников Баянаульских низкогорий на дерново-глеевых суглинистых почвах с обильным, интенсивно-проточным увлажнением выявлены беспозвоночные, относящиеся к 43 семействам и 14 отрядам. В летний период вертикальные миграции беспозвоночных ослаблены, они обитают в подстилке и верхнем почвенном слое 0–5 см. Основная масса почвенного населения представлена поверхностно живущими видами или обитающими в верхних почвенных горизонтах. Население наименее нарушенных черноольшаников концентрируется в слоях 5–15 см, что обусловлено долей почвенных видов дождевых червей и личинок насекомых.

Интразональные черноольховые леса характеризуются высокой общей зоомассой мезофауны (до 42,1 г/м²), а более 85 % зоомассы приходится на сапрофильный комплекс, что характерно для зональных широколиственных лесов. Минимальная общая плотность почвенной мезофауны зарегистрирована в черноольшанике будровом (272,6±18 экз./м²), максимальная — в черноольшанике страусниковом (503,55±22 экз./м²). Сохранение значительной доли лесных видов (для жуужелиц от 55,6 % до 64,3 %), гигрофилов, свидетельствует об определенной устойчивости и самоподдержании черноольховых биоценозов.

В черноольшаниках ряда пастбищной дигрессии отмечено последовательное уменьшение индекса плотности почвенного населения ($P = 145,6; 80,19; 69,7$) и смена трофических преферендумов, в частности, значительный рост численности зоофагов до 41,27 %, что сравнимо с изменением сообществ почвенных беспозвоночных при осушении [17]. При сравнительно высокой численности видов индексы их видового разнообразия в черноольшаниках невелики, а изменение среды обитания вызывает смену менее половины видов. Расчет степени сходства между комплексами почвенных беспозвоночных на основе коэффициента Жаккара выявляет близость ценозов по составу жесткокрылых ($K_j = 0,53; 0,5; 0,5$) и двукрылых ($K_j = 0,5; 0,6; 0,5$).

Усиление рекреационной и пастбищной дигрессии в черноольховых лесах определяет особенности структуры модельной группы *Carabidae*: повышается статус встречаемости лугово-полевых видов; изменяется соотношение европейско-сибирских, транспалеарктических и голарктических видов; происходит ротация доминантных жизненных форм (стратобионты подстилочные и подстилочно-почвенные сменяются эпигеобионтами и геохортобионтами).

Смешанный флористический и фаунистический состав черноольшаников выявляет их экотонное положение в интразональных условиях среди степной растительности. В ходе начавшейся сукцессии наблюдается снижение общего обилия и обеднение видового состава важнейших сапрофагов — люмбрицид и формирование моновидовых сообществ, с тенденцией элиминации группы из комплекса педобионтов. В наиболее антропогенно измененных черноольшаниках гор Ерментау дождевых червей не найдено, а переработка первичной продукции в летний период идет по пастбищному типу.

В аридных условиях зоны степей дождевые черви наиболее многочисленны только в местообитаниях, имеющих регулярный режим увлажнения. Черноольховые леса Баянаульского лесного оазиса служат своеобразным убежищем для *Lumbricidae* в южной части Казахского мелкосопочника. Обширная гидрологическая сеть горно-лесного массива способствует распространению дождевых червей в мезофитные сосняки, осинники, вторичные березняки, где они обеспечивают активное функционирование детритного блока пищевой цепи сукцессионных лесных фитоценозов, рефугиумов бореальной флоры и фауны. Черноольшаники значительно повышают биоразнообразие в зоне степи и нуждаются в мониторинге и охране. Процессы пастбищной и рекреационной дигрессии, несомненно, влияют на длительность существования этих уникальных лесных экосистем.

Список литературы

- 1 Горчаковский П.Л. Лесные оазисы Казахского мелкосопочника / П.Л. Горчаковский. — М.: Наука, 1987. — 160 с.
- 2 Анапиев И.М. Биоэкология некоторых редких растений Ерментауских гор / И.М. Анапиев // Морфофизиологические и экологические особенности растительного мира Центрального Казахстана. — Караганда: Изд-во КарГУ, 1986. — С. 15–20.
- 3 Солодухина А.Е. Флористическая характеристика черноольховых лесов Костанайской области / А.Е. Солодухина // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. — Томск, 2020. — С. 115–117.
- 4 Slavchenko N.P. Geophilous beetles in forest cenoses of the Karkarala game reserve (Kazakhstan upland) / N.P. Slavchenko // Soil fauna and soil fertility: Proceedings of the 9th international colloquium on soil zoology. — Moscow: Nauka, 1987. — P. 479–480.
- 5 Славченко Н.П. Почвенные энтомофаги Каркаралинского национального парка (Казахский мелкосопочник) // Материалы XII Междунар. симпоз. по энтомофауне Средней Европы. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 227–231.
- 6 Крашенинников И.М. Основные пути развития растительности Южного Урала в плейстоцене и голоцене в связи с палеогеографией Северной Евразии в плейстоцене и голоцене / И.М. Крашенинников // Сов. ботаника. — 1939. — Вып. 6, 7. — С. 67–69.
- 7 Грибанов Л.Н. К истории степных боров Западной Сибири и Северного Казахстана / Л.Н. Грибанов // Ботанический журн. — 1957. — Т. 159, Вып. 4. — С. 556–570.
- 8 Лалоян Н.Т. Реликтовая растительность Баянаульских низкогорий (Центральный Казахстан), ее антропогенная динамика и проблемы охраны: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.Т. Лалоян. — Свердловск, 1982. — 22 с.
- 9 Макулбекова Г.Б. Смены ольховых лесов Баянаульского горного массива / Г.Б. Макулбекова // Изв. АН КазССР. Сер. биол. — 1966. — № 5. — С. 21–24.
- 10 Гиляров М.С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) / М.С. Гиляров // Количественные методы в почвенной зоологии. — М.: Наука, 1987. — С. 9–26.
- 11 Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов / Б.Р. Стриганова. — М.: Наука, 1980. — 244 с.
- 12 Стриганова Б.Р. Трофические отношения почвенных животных и их зонально-ландшафтные особенности / Б.Р. Стриганова, Ю.И. Чернов // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. — М.: Наука, 1980. — С. 269–288.
- 13 Лебедева Н.В. География и мониторинг биоразнообразия / Н.В. Лебедева, Д.А. Кривоуцкий, Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконов, Г.М. Алещенко, А.В. Смулов, В.Н. Максимов, В.С. Тикунов, Г.Н. Огуреева, Т.В. Котова. — М.: Науч. учеб.-метод. центр, 2002. — 432 с.
- 14 Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР / Т.С. Перель. — М.: Наука, 1979. — 272 с.
- 15 Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви фауны России. Кадастр и определитель / Т.С. Всеволодова-Перель. — М.: Наука, 1997. — 102 с.
- 16 Шарова И.Х. Жизненные формы жуужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) / И.Х. Шарова. — М.: Наука, 1981. — 360 с.
- 17 Хотько Э.И. Современное состояние почвенной мезофауны запада лесной зоны европейской части СССР в связи с антропогенным воздействием: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Э.И. Хотько. — Киев, 1990. — 48 с.
- 18 Грюнталь С.Ю. Жужелицы как индикаторы рекреационного воздействия на лесные экосистемы / С.Ю. Грюнталь, Р.О. Бутовский // Энтомологическое обозрение. — 1997. — Т. LXXVI, Вып. 3. — С. 547–554.
- 19 Большаков В.Н. Опыт мониторинга состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / В.Н. Большаков, И.А. Кузнецова // Биосфера. — 2016. — Т. 8, № 2. — С. 164–169.
- 20 Белова Ю.Н. Фауна и население жуужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) лесных экосистем на территории Вологодской области: моногр. / Ю.Н. Белова. — Вологда: Вологод. гос. ун-т, 2014. — 124 с.
- 21 Кондратьева А.М. Состав и структура гемиптерокомплексов околородных экотонных биотопов среднерусской лесостепи: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.М. Кондратьева. — Воронеж, 2014. — 23 с.
- 22 Бригадиренко В.В. Экология *Harpalus rufipes* (*Coleoptera, Carabidae*) в пойменных и аренных лесах степной зоны / В.В. Бригадиренко // Придніпров. наук. вісн. — 1998. — № 113 (280). — С. 85–91.

- 23 Ганин Г.Н. Почвенные животные Уссурийского края / Г.Н. Ганин. — Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 1997. — 159 с.
- 24 Кутюва О.В. Влияние дождевых червей (*Oligochaeta, Lumbricidae*) на биоту и органическое вещество дерново-подзолистых почв при разных системах землепользования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / О.В. Кутюва. — М., 2012. — 25 с.
- 25 Юрков А.М. Влияние дождевых червей *Lumbricus terrestris* на структуру дрожжевого сообщества лесной подстилки. / А.М. Юрков, И.Ю. Чернов, А.В. Тиунов // Микробиология. — 2007. — Т. 76, № 6. — С. 697–701.
- 26 Тиунов А.В. Влияние нор дождевых червей *Lumbricus terrestris* на пространственное распределение и таксономическую структуру почвенных сообществ / А.В. Тиунов // Зоол. журн. — 2003. — Т. 82, № 2. — С. 269–274.
- 27 Стриганова Б.Р. Адаптивные стратегии почвенных сапрофагов с многолетними циклами развития / Б.Р. Стриганова // Проблемы почвенной зоологии: материалы XVI Всерос. совещ. по почвенной зоологии. — М.: КМК, 2011. — С. 122, 123.
- 28 Козулько Г.А. Почвенные беспозвоночные основных типов леса Беловежской пуши и пути их сохранения: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г.А. Козулько. — Минск, 1996. — 19 с.
- 29 Максимова С.Л. Современное состояние люмбрикофауны и новые виды дождевых червей (*Oligochaeta, Lumbricidae*) в Беларуси / С.Л. Максимова, Ю.Ф. Мухин // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. — 2015. — № 3. — С. 56–60.
- 30 Стриганова Б.Р. Животное население почв бореальных лесов Западно-Сибирской равнины / Б.Р. Стриганова, Н.М. Порядина. — М.: КМК, 2005. — 234 с.
- 31 Стриганова Б.Р. Пространственное распределение ресурсов животного населения почв в климатических градиентах / Б.Р. Стриганова // Успехи современной биологии. — 2009. — Т. 129, № 6. — С. 538–549.
- 32 Бессолицына Е.П. Эколого-географические закономерности распределения дождевых червей (*Oligochaeta, Lumbricidae*) в ландшафтах юга Средней Сибири / Е.П. Бессолицына // Экология. — 2012. — № 1. — С. 70–73.

В.С. Абуkenова

Рекреациялық және жайылымдық дигрессия жағдайларында Қазақ ұсақ шоқыларындағы қара қандыағаш ормандарының топырақ мезофаунасы

Мақалада таралу аймағының оңтүстік-шығыс шекарасындағы *Alnus glutinosa* екпелерінің функционалдық ерекшеліктерінің көрсеткіші ретінде Қазақтың ұсақ шоқыларындағы қара қандыағаш ормандарының топырақ мезофаунасы зерттелген. Ормандар үлкен аумақты массивтер құрмайды және рельеф түрімен, ағындар мен өзендердің аңғарларымен, жер асты суларының тереңдігімен байланысты. Флора мен фаунаның реликті түрлері ежелгі шығу тегі мен қара қандыағаш тоғайының рефугийі ретінде маңызды мәнін көрсетеді. Рекреациялық жүктеме мен жайылымның әсерінен орман қауымдастықтары өзгереді, бұл жердегі биоценоздардың жағдайын тез бағалауды қажет етеді. Ұсақ шоқылы қандыағаш ормандар мезофаунаның жоғары жалпы биомассасымен (13,6 г/м²-ден 42,1 г/м²-ге дейін) сипатталатыны анықталды, мұнда үй жануарлары массасының 85 %-дан астамы сапрофильді кешенге сәйкес. Топырақ популяциясының тығыздығы едәуір (272,6 дана/м²-ден 503,55 дана/м²-ге дейін), яғни тұтастай алғанда ормандар аймақтық кең жапырақты формациялардың ерекшеліктерін сақтайды. Рекреациялық және жайылымдық дигрессияның әртүрлі сатыларында орналасқан қара қандыағаш орманының қауымдастықтардағы педобионттар құрылымының антропокалық өзгерістері анықталды. Топырақ популяциясының тығыздығының индексі (P = 145,6; 80,19; 69,7) және орман түрлері үлесінің төмендеуі байқалған. Модельдік (*Carabidae*) және доминантты (*Lumbricidae*) топтардағы тіршілік формаларының өзгеруі, жануаркоректілер санының көбеюі, шіріккоректілердің жалпы көптігінің төмендеуі және түрлер құрамының азуы анықталған. Топырақ мезофаунасы өзінің құрылымында дала аймағының реликті қара қандыағашының биоценотикалық ерекшелігін және биоценоздардың сабақтастығын көрсетеді.

Кілт сөздер: топырақтық мезофауна, люмбрицидтер, қара қандыағаш ормандар, рекреациялық дигрессия, Қазақтың ұсақ шоқылары.

V.S. Abukenova

Soil mesofauna of black alder forests of Kazakh upland in conditions of recreational and pasture digression

The soil mesofauna of the black alder forests of Kazakh upland is studied as an indicator of the functional features of *Alnus glutinosa* plantings on the southeastern border of the area. Forests do not form massifs of a

large area and are associated with the type of relief, valleys of streams and rivers, and the groundwater. Relict species of flora and fauna testify to the ancient origin and importance of black alder forests as refugia. The forest communities are changing under the influence of recreational load and grazing. It requires an early assessment of the state of terrestrial biocenoses. It has been established that black alder forests are characterized by high total biomass of mesofauna (from 13,6 g/m² to 42,1 g/m²), where more than 85 % of the zoomass falls on the saprophilic complex. The density of the soil population is significant (from 272,6 copies/m² to 503,55 copies/m²), i.e., in general, forests retain the features of zonal broad-leaved formations. Anthropogenic changes in the structure of pedobionts in black alder forests associations at different stages of recreational and pasture digression are revealed. There is a consistent decrease in the density index of the soil population ($P = 145,6; 80,19; 69,7$) and the proportion of forest species. A change of life forms in the model (*Carabidae*) and dominant (*Lumbricidae*) groups, an increase in the number of zoophages, a decrease in the total number and depletion of the species composition of saprophages are noted. The soil mesofauna reflects in its structure the biocenosis originality of relict black alder forests of the steppe zone and the continuity of biocenoses.

Keywords: soil mesofauna, lumbricoides, black alder forests, recreational digression, Kazakh upland.

References

- 1 Gorchakovskii, P.L. (1987). *Lesnye oazisy Kazakhskogo melkosopochnika [Forest oases of the Kazakh upland]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 2 Anapiev, I.M. (1986). Bioekologiya nekotorykh redkikh rastenii Ermentauskikh gor [Bioecology of some rare plants of the Ermentau Mountains]. *Morfofiziolicheskie i ekologicheskie osobennosti rastitelnogo mira Tsentralnogo Kazakhstana — Morphophysiological and ecological features of the flora of Central Kazakhstan*. Karaganda: Izdatelstvo Karagandinskogo gosudarstvennogo universiteta, 15–20 [in Russian].
- 3 Solodukhina, A.E. (2020). Floristicheskaya kharakteristika chernoolkhovykh lesov Kostanaiskoi oblasti [Floristic characteristics of black alder forests of the Kostanay region]. *Problemy izucheniia rastitelnogo pokrova Sibiri — Problems of studying the vegetation cover of Siberia*. Tomsk, 115–117 [in Russian].
- 4 Slavchenko, N.P. (1987). Geophilous beetles in forest cenoses of the Karkarala game reserve (Kazakhstan upland). Soil fauna and soil fertility: *Proceedings of the 9th international colloquium on soil zoology*. Moscow: Nauka, 479–480.
- 5 Slavchenko, N.P. (1991). Pochvennye entomofagi Karkaralinskogo natsionalnogo parka (Kazakhskii melkosopochnik) [Soil entomophages of the Karkaraly National Park (Kazakh upland)]. *Materialy XII Mezhdunarodnogo simpoziuma po entomofaune Srednei Evropy — Proceedings of the XII International Symposium on entomofauna of Central Europe*. Kiev: Naukova dumka, 227–231 [in Russian].
- 6 Krashenninnikov, I.M. (1939). Osnovnye puti razvitiia rastitelnosti Yuzhnogo Urala v pleistotsene i golotsene v sviazi s paleogeografiie Severnoi Evrazii v pleistotsene i golotsene [The main ways of vegetation development of the Southern Urals in the Pleistocene and Holocene in connection with the paleogeography of Northern Eurasia in the Pleistocene and Holocene]. *Sovetskaya botanika — Soviet Botany*, 6–7, 67–69 [in Russian].
- 7 Gribov, L.N. (1957). K istorii stepnykh borov Zapadnoi Sibiri i Severnogo Kazakhstana [On the history of steppe boars of Western Siberia and Northern Kazakhstan]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical Journal*, 159 (4), 556–570 [in Russian].
- 8 Laloian, N.T. (1982). Reliktovaya rastitelnost Baianaulskikh nizkogorii (Tsentralnyi Kazakhstan), ee antropogennaya dinamika i problemy okhrany [Relict vegetation of the Bayanaul lowlands (Central Kazakhstan), its anthropogenic dynamics and problems of protection]. *Candidate's thesis*. Sverdlovsk [in Russian].
- 9 Makulbekova, G.B. (1966). Smeny olkhovykh lesov Baianaulskogo gornogo massiva [Changes of alder forests of the Bayanaul mountain range]. *Izvestiia Akademii nauk Kazakhskoi SSR. Seriya Biologiya. — Proceedings of Academy of Sciences of Kazakh SSR. Biology Series*, 5, 21–24 [in Russian].
- 10 Giliarov, M.S. (1987). Uchet krupnykh bespozvonochnykh (mezofauna) [Accounting of large invertebrates (mesofauna)]. *Kolichestvennye metody v pochvennoi zoologii — Quantitative methods in soil zoology*. Moscow: Nauka, 9–26 [in Russian].
- 11 Striganova, B.R. (1980). *Pitanie pochvennykh saprofagov [Nutrition of soil saprophages]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 12 Striganova, B.R., & Chernov, Yu.I. (1980). Troficheskie otnosheniia pochvennykh zhivotnykh i ikh zonalno-landshaftnye osobennosti [Trophic relations of soil animals and their zonal landscape features]. *Strukturno-funktsionalnaia organizatsiia biogeotsenozov — Structural and functional organization of biogeocenoses*. Moscow: Nauka, 269–288 [in Russian].
- 13 Lebedeva, N.V., Krivolutskii, D.A., Puzachenko, Yu.G., Diakonov, K.N., Aleshchenko, G.M., Smurov, A.V., Maksimov, V.N., Tikunov, V.S., Ogureeva, G.N., & Kotova, T.V. (2002). *Geografiia i monitoring bioraznobraziia [Geography and monitoring of biodiversity]*. Moscow: Nauchnyi uchebno-metodicheskii tsentr [in Russian].
- 14 Perel, T.S. (1979). *Rasprostraneniye i zakonmernosti raspredeleniia dozhdevykh chervei fauny SSSR [Range and regularities in the distribution of earthworms of the USSR fauna]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 15 Vsevolodova-Perel, T.S. (1997). *Dozhdevye chervi fauny Rossii. Kadastr i opredelitel [Earthworms of the fauna of Russia. Cadastre and determinant]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 16 Sharova, I.Kh. (1981). *Zhiznennye formy zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) [Life forms of Carabids (Coleoptera, Carabidae)]*. Moscow: Nauka [in Russian].

- 17 Khotko, E.I. (1990). Sovremennoe sostoianie pochvennoi mezofauny zapada lesnoi zony evropeiskoi chasti SSSR v sviazi s antropicheskim vozdeistviem [The current state of the soil mesofauna of the western forest zone of the European part of the USSR in connection with the anthropic impact]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kiev [in Russian].
- 18 Griuntal, S.Yu., & Butovskii, P.O. (1997). Zhuzhelitsy kak indikatory rekreatsionnogo vozdeistviia na lesnye ekosistemy [Ground beetles as indicators of recreational impact on forest ecosystems]. *Entomologicheskoe obozrenie — Entomological Review*, 3 (76), 547–554 [in Russian].
- 19 Bolshakov, V.N., & Kuznetsova, I.A. (2016). Opyt monitoringa sostoiianiia prirodnoi sredy osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Sverdlovskoi oblasti [The experience of monitoring the state of the natural environment of specially protected natural territories of the Sverdlovsk region]. *Biosfera — Biosphere*, 8(2), 164–169 [in Russian].
- 20 Belova, Yu.N. (2014). *Fauna i naselenie zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) lesnykh ekosistem na territorii Vologodskoi oblasti [Fauna and population of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of forest ecosystems in the Vologda region]*. Vologda: Vologodskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].
- 21 Kondrateva, A.M. (2014). Sostav i struktura gemipterokompleksov okolovodnykh ekotonnykh biotopov srednerusskoi lesostepi [Composition and structure of hemipterocomplexes of near-water ecotonic biotopes of the Central Russian forest-steppe]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Voronezh [in Russian].
- 22 Brigadireno, V.V. (1998). Ekologiya Harpalus rufipes (Coleoptera, Carabidae) v poimennykh i arennykh lesakh stepnoi zony [Ecology of Harpalus rufipes (Coleoptera, Carabidae) in floodplain and arena forests of the steppe zone]. *Pridniprovskaia naukovaia visnik — Pridniprovskaia naukovaia visnik*, 113 (280), 85–91 [in Russian].
- 23 Ganin, G.N. (1997). Pochvennye zhivotnye Ussuriiskogo kraia [Soil animals of the Ussuri region]. Vladivostok-Khabarovsk: Dalnauka [in Russian].
- 24 Kutovaia, O.V. (2012). Vliianie dozhdevykh chervei (Oligochaeta, Lumbricidae) na biotu i organicheskoe veshchestvo dernovo-podzolistykh pochv pri raznykh sistemakh zemlepolzovaniia [The influence of earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) on the biota and organic matter of sod-podzolic soils under different land use systems]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
- 25 Iurkov, A.M., Chernov, I.Yu., & Tiunov, A.V. (2007). Vliianie dozhdevykh chervei Lumbricus terrestris na strukturu drozhzhevogo soobshchestva lesnoi podstilki [The influence of the earthworms Lumbricus terrestris on the structure of the yeast community in litter forest]. *Mikrobiologiya — Microbiology*, 76 (6), 697–701 [in Russian].
- 26 Tiunov, A.V. (2003). Vliianie nor dozhdevykh chervei Lumbricus terrestris na prostranstvennoe raspredelenie i taksonomicheskuiu strukturu pochvennykh soobshchestv [The influence of the burrows of the earthworms Lumbricus terrestris on the spatial distribution and taxonomic structure of soil communities]. *Zoologicheskii zhurnal — Zoological Journal*, 2 (82), 269–274. [in Russian].
- 27 Striganova, B.R. (2011). Adaptivnye strategii pochvennykh saprofitov s mnogoletnimi tsiklami razvitiia [Adaptive strategies of soil saprophages with long-term development cycles]. *Problemy pochvennoi zoologii: Materialy XVI Vserossiiskogo soveshchaniia po pochvennoi zoologii — Problems of Soil Zoology: Proceedings from 14th All-Russian Meeting on Soil Zoology*. Moscow: KMK, 122–123 [in Russian].
- 28 Kozulko, G.A. (1996). Pochvennye bespozvonochnye osnovnykh tipov lesa Belovezhskoi pushchi i puti ikh sokhraneniia [Soil invertebrates of the main types of the forest of Belovezhskaya Pushcha and ways of their conservation]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Minsk [in Russian].
- 29 Maksimova, S.L., & Mukhin, Iu.F. (2015). Sovremennoe sostoianie liumbrikofauny i novye vidy dozhdevykh chervei (Oligochaeta, Lumbricidae) v Belarusi [The current state of lumbricofauna and new species of earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in Belarus]. *Izvestiia Natsionalnoi akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk — Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences*, 3, 56–60 [in Russian].
- 30 Striganova, B.R., & Poriadina, N.M. (2005). *Zhivotnoe naselenie pochv borealnykh lesov Zapadno-Sibirskoi ravniny [Animal population of boreal forest soils of the West Siberian Plain]*. Moscow: KMK [in Russian].
- 31 Striganova, B.R. (2009). Prostranstvennoe raspredelenie resursov zhivotnogo naseleniia pochv v klimaticheskikh gradientakh [Spatial distribution of soil animal population in climatic gradients]. *Uspekhi sovremennoi biologii — Successes of modern biology*, 6 (129), 538–549 [in Russian].
- 32 Bessolitsyna, E.P. (2012). Ekologo-geograficheskie zakonomernosti raspredeleniia dozhdevykh chervei (Oligocheta, Lumbricidae) v landshaftakh yuga Srednei Sibiri [Ecological and geographical patterns of distribution of earthworms (Oligocheta, Lumbricidae) in the landscapes of the south of Central Siberia]. *Ekologiya — Ecology*, 1, 70–73 [in Russian].

Р.Б. Азнабаева¹, А.М. Тургимбаева², Ұ.Ө. Зейн², С.К. Абельденов^{1,2*}

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан;

²Национальный центр биотехнологии, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: abeldenov@gmail.com

Пептидные последовательности для белок-белковых взаимодействий скользящего зажима

Антибиотическая резистентность патогенных микроорганизмов на сегодняшний день становится все более опасной проблемой во всем мире, вместе с тем возрастает необходимость в разработке новых антибактериальных мишеней. С момента открытия скользящих зажимов у бактерий было проведено большое количество исследований, в ходе которых открылись его неповторимые свойства — способность связываться с ДНК и увеличивать активность и эффективность белков репараций и репликации, что подчеркивает его большую роль в поддержании устойчивости бактерий к повреждениям ДНК. В настоящий момент количество белков-партнеров, с которыми скользящий зажим способен создавать функциональные комплексы продолжает расти, и потому β -зажим является объектом для внимания как потенциальное решение для поиска новых антибиотиков. В обзорной статье приведены некоторые исследования, освещающие его строение, структуру и механизм действия, а также его способность образовывать комплексы со многими белками-партнерами с помощью уникального мотива связывания β -зажима, который является консервативным и аналогичен для всех белков-партнеров.

Ключевые слова: β -зажим, бактерия, антибиотики, репарация, белки, устойчивость, ДНК, резистентность патогенных микроорганизмов.

Введение

Скользящий зажим — это особый олигомерный белковый комплекс, являющийся субъединицей ДНК-полимераз и имеющий форму кольца молекулярной массой ~82 кДа [1–3]. Они обнаружены практически у всех организмов, включая некоторые вирусы, и называются ядерным антигеном пролиферирующих клеток (PCNA) у эукариот и β -зажимом у прокариот [4]. И хотя во всех этих трех структурах жизни кольцевые зажимы не имеют гомологии в аминокислотных последовательностях, по строению и структуре они практически идентичны. У бактерий скользящий зажим является димером, он состоит из двух β -субъединиц, откуда и получил свое название β -зажим. У архей и эукариот зажимы являются тримером из трёх молекул PCNA. Фаг T 4 также имеет тримерную структуру зажима и называется gp45 [5].

По своей природе скользящие зажимы являются важнейшим кофактором процессивности полимеразы, увеличивая скорость присоединения нуклеотидов к растущей цепи в тысячи раз. Во время репликации ДНК необходимо точно синтезировать до миллиарда нуклеотидов за короткий период времени, но связь между полимеразой и матрицей достаточно неустойчива и потому репликативные ДНК-полимеразы сами по себе непрерывно синтезируют всего несколько нуклеотидов, прежде чем отпадают из матрицы. Чтобы увеличить степень процессивности для эффективной репликации, ДНК-полимеразы связываются с кольцевыми скользящими зажимами, которые при помощи своей кольцевой формы способны плотно охватить матричную ДНК и крепко удерживать полимеразу, тем самым предотвращая ее диссоциацию от ДНК. Это также указывает на то, что белок — белковое взаимодействие между ДНК, скользящим зажимом и полимеразой более специфично по сравнению с тем, когда ДНК взаимодействует только с полимеразой. Однако, несмотря на это, скользящий зажим, в отличие от других субъединиц, не прикреплен к полимеразе на постоянной основе [4].

Для того, чтобы загрузить замкнутую кольцевую структуру скользящего зажима на ДНК, необходим специальный механизм, способный катализировать временное открытие, сборку и замыкание вокруг ДНК. Такую работу выполняет мультисубъединичный фермент из семейства АТФаз-погрузчик β -зажима (clamp loader). Погрузчик скользящих зажимов (фактор репликации C у эукариот) использует АТФ для размыкания скользящих зажимов и размещения их вокруг 3'-конца матрицы. Помимо этого, погрузчик β -зажимов направляет их на участки инициации синтеза ДНК, а также помогает во взаимодействии β -зажима с ДНК-полимеразами [5].

Не так давно ряд открытий позволил узнать, что, помимо взаимодействия с полимеразой, скользящие зажимы могут участвовать в процессах репликации, модификации и репарации ДНК, связываясь и с другими белками на ДНК (помимо PolS). Опосредует эту связь у белков-партнеров линейный мотив, состоящий из пяти аминокислотных остатков с консенсусной последовательностью QL[SD]LF [1–3].

Универсальный СВМ-мотив у прокариот

С β -зажимом образуют комплекс многие репарационные и полимеразные белки, такие как DnaE, PolC, PolIV (DinB), PolV, PolI, MutS, UmuC, DinB1, MutL, XthA, ДНК лигаза и Hda. Все эти белки имеют универсальный β -зажим-связывающий мотив (clamp-binding motif, СВМ) с консенсусной последовательностью QL [SD] LF, чаще всего расположенный на С- или N- концах и иногда внутри белка. Данный мотив играет решающую роль в образовании стабильных физических и функциональных связей с β -зажимом. Главным образом, это гидрофобные ароматические аминокислоты, которые связываются с комплементарными остатками, преимущественно на пептид-связывающем кармане (PBG) и реже на С-конце кольцевого зажима [6].

В работе [6] авторы выравнивали области, содержащие консенсусные аминокислотные последовательности 250 белков-партнеров кольцевого зажима. Белки-партнеры относились к 6 разным семействам PolB (15 примеров), PolC (22 примера), DnaE1 (72 примера), DinB1 (62 примера), UmuC (20 примеров) и MutS1 (59 примеров) эубактерий, эукариот и архей. Результат показал некоторое сходство между связывающими мотивами эубактериальных и эукариотических систем. Подчеркивается наличие высокого уровня сохранения Gln в первой позиции — данная аминокислота встречалась с частотой 76,4 %, и очень редко заменялась Glu (1,6 %), далее Leu, которая встречалась в 41,6 % во второй позиции, в третьей позиции это были Ser (34 %) и Asp (22,8 %), четвертая и пятая позиции отдавали предпочтение Leu (81,2 %) и Phe (76,8 %). Таким образом, авторы вывели консенсусную последовательность — QL [SD] LF. Примечательно то, что белок репарации ошибочного спаривания MutS1 не содержит совпадений с СВМ-мотивом, в то время как его эукариотический аналог способен связываться с PCNA [6– 8].

В исследовании [9] авторы создавали *in vivo* и *in vitro* комплексы между эндонуклеазой MtbXthA и зажимом Mtb β -Clamp. XthA участвуют в начальной и конечной стадиях эксцизионной репарации оснований бактериальной ДНК (BER). В ходе выравнивания последовательностей MtbXthA с его AP-эндонуклеазными гомологами у других бактерий рядом с сайтом связывания ДНК был установлен мотив 239QLRFPKK245, который соответствовал консенсусной последовательности в работе [6]. Для его подтверждения авторы использовали мутант MtbXthAPIP, который содержал мутацию F242S в предполагаемом мотиве. С помощью флуоресцентного анализа была измерена его аффинность связывания с Mtb β -Clamp, впоследствии чего авторы наблюдали уменьшение степени сродства между белками. Это подтвердило, что предполагаемый мотив, а именно F242, играет важную роль во взаимодействии между двумя белками, и наличие мутации в данном мотиве нарушает связывание. Кроме того, эксперимент при стандартных условиях реакции со стимуляцией эндонуклеазной и экзонуклеазной активности MtbXthA посредством добавления Mtb β -Clamp показал, что кольцевой зажим приводит к 75 % расщеплению ДНК субстрата при эндонуклеазной активности, а без кольцевого зажима — MtbXthA расщеплял субстрат на 15 %. При экзонуклеазной активности MtbXthA в комплексе с кольцевым зажимом расщеплял субстрат на 65 %, без кольцевого зажима лишь на 11 %. Еще один проведенный эксперимент в этой работе также показал, что Mtb β -Clamp способен взаимодействовать с MtbXthA, как через бороздку связывания пептида (PBG), локализованный у Mtb β -Clamp на субсайте I, так и через С-конец субсайта III. Так, в присутствии ДНК-субстрата комплекс образовался непосредственно через С-конец, в отсутствие ДНК белки взаимодействовали через PBG, что указывает на то, что у β -Clamp, как и у его эукариотического аналога PCNA есть множественные способы взаимодействия с белками-партнерами [9].

В исследованиях, где каталитическая субъединица ДНК-полимеразы V транслезионного синтеза-UmuC *E. coli* взаимодействует с β -зажимом, был подтвержден СВМ-мотив-357QLNLF361, который ранее был идентифицирован в [6]. UmuC в комплексе с UmuD₂ образуют «склонную к ошибкам» ДНК-полимеразу V, являющуюся важнейшей частью SOS-системы и обладающей сильным мутагенным потенциалом, который, в свою очередь, обеспечивает устойчивость бактерий к антибиотикам. Линейное выравнивание показало, что у PolV предполагаемый мотив находится внутри белка, а не на С-конце. Для его подтверждения авторы инкубировали синтетический меченый пептид, содержащий

СВМ-мотив–357QLNLF361 с β -зажимом, впоследствии чего образованный комплекс был кристаллизирован и идентифицирован методом гель-фильтрации. Сравнение мотивов связывания кольцевого зажима у Pol II, Pol III, Pol IV с UmuC показало, что UmuC демонстрирует уникальное различие: в отличие от других полимераз, его консервативный Phe-361 не попадает в пептид-связывающий карман зажима, но это компенсируется взаимодействием между Asn-359 из UmuC и Arg-152 на поверхности зажима, так как при связывании данные остатки находятся близко друг к другу. Они предполагают, что существующие множественные вариации связывания кольцевого зажима мотивом у разных полимераз опосредуется остатками на поверхности именно кольцевого зажима, и напрямую это связано с присутствием ДНК [10].

В исследованиях взаимодействия β -зажима с ДНК-лигазой у *Helicobacter pylori*, рядом с С-концом белка был идентифицирован мотив 554QEFIRSLF561, соответствующий консенсусной последовательности. ДНК-лигазы играют одну из ключевых ролей в системах репликаций и репараций ДНК, как у прокариот, так и у эукариот, и, в отличие от эукариотической лигазы, во взаимодействии с PCNA роль кольцевого зажима во взаимодействиях с ДНК-лигазой у бактерий плохо изучена. Для подтверждения существования связи авторы кристаллизировали H β -clamp с синтетическим пептидом, содержащим предполагаемый мотив 554QEFIRSLF56 из ДНК-лигазы. Результат показал наличие комплекса и то, что он так же, как и большинство белков, опосредуется преимущественно гидрофобными остатками. Авторы отметили важность таких остатков на мотиве, как Ile557, Leu560 и Phe561, подчеркивая, что именно они взаимодействуют с PBG кольцевого зажима. Примечательно то, что ранее аналогичный эксперимент на наличие комплекса MtbLigA-Mtb β -clamp белков у *M. tuberculosis* не нашел подтверждения [11].

Результаты анализа взаимодействия β -зажима и белком негативной регуляции инициации репликации Hda (белок, родственник DnaA) у *E. coli* подтвердили, что Hda напрямую связывается с β -зажимом через идентифицированный консенсусный СВМ-мотив QL [SP] LPL, который ранее был так же идентифицирован в [6]. Выравнивание остатков показало то, что, в отличие от большинства других белков, предполагаемый мотив у белков семейства Hda располагается преимущественно на N-конце. Для того, чтобы доказать является ли выделенный мотив связующим кольцевой зажим, авторы индуцировали мутации на гексапептиде Hda: заменили QLSLPL на QASAPA в первом мутанте и QLSLPL на QLSAAL во втором мутанте. Результаты показали, что данные замены нарушали способность Hda связываться с кольцевым зажимом. Во втором эксперименте были использованы синтетические пептиды, содержащие мотив, аналогичный гексапептиду мотива Hda. Авторы предполагали, что данные пептиды будут конкурировать за кольцевой зажим с Hda, тем самым нарушая способность последних образовывать комплекс. В результате было достигнуто 50 % ингибирование связывания между Hda и β -зажимом, подтверждающим то, что мотив является β -связующим [12].

PCNAPIP-мотив у эукариот

У эукариот и архей ядерный антиген пролиферирующих клеток (proliferating cell nuclear antigen, PCNA) собирается в гомотримерные кольца, каждый протомер состоит из двух идентичных доменов, соединенных междоменной соединительной петлей (IDCL) [5, 13]. PCNA, как и его аналог у бактерий, взаимодействует с белками-партнерами посредством связывания через PIP-мотив (PCNA-interacting protein motif, PIP-box). У PCNA их несколько, это канонический PIP-мотив — QxxHxxAA, где H — это алифатический гидрофобный остаток (чаще всего I, L или M); A — ароматический гидрофобный остаток (F, W или Y); x — любая аминокислота [14, 15]. У некоторых белков репарации и репликации был идентифицирован новый мотив, взаимодействующий с PCNA, который получил название KAbox. Данный мотив встречается реже других и состоит из остатков KA-(A / L / I) — (A / L / Q) — x x — (L / V) [16, 17].

В исследовании [18] авторы идентифицировали новый альтернативный мотив взаимодействия с PCNA—APIM (R / K- F / W / Y- L / I / V / A- L / I / V / A- K / R). Он содержит до 10 N-концевых аминокислот с высококонсервативным Phe и широко распространен так же, как и классический PIP-мотив, но, в отличие от классического PIP-мотива, который присутствует во многих белках репликации ДНК, APIM чаще встречается в репарационных белках, а также у белков, участвующих в контроле клеточного цикла [18]. Как и классический мотив, APIM связывается с PCNA, через его консервативный пептид-связывающий карман, который находится ниже междоменной соединительной петли (IDCL) [19, 20].

Сам белковый кольцевой зажим PCNA, в отличие от бактериального β -зажима, для взаимодействия с PIP-мотивом имеет три идентичных по структуре и функционированию пептид-связывающих карманов (PBG). Каждый карман находится по одному на каждом мономере белка, и потому PCNA способен одновременно связывать три разных лиганда [21].

Загрузчик зажима

Скользящие зажимы не могут свободно связываться с ДНК из-за своей замкнутой кольцевой формы [1, 22, 23], для этого им требуются АТФ-зависимые комплексы — загрузчики зажимов. Будучи членами AAA+ суперсемейства АТФаз, проявляя моторную и геликазную активность и способность разбирать белковые комплексы, загрузчики зажимов катализируют раскрытие скользящего зажима, загружают их на ДНК и замыкают кольцо вокруг него. У эукариот и архей загрузчик зажимов называется фактор репликации С (RFC), у бактерий — это комплекс γ/τ , а у вирусов — gp44/62 [24, 25]. Обычно AAA+ АТФазы создают гексамерные комплексы, но в комплексе β -зажимом загрузчик зажимов является пентамером. В отсутствие АТФ загрузчики зажима очень слабо взаимодействуют с кольцевыми зажимами, а при связывании АТФ они претерпевают конформационные изменения, которые обеспечивают оптимальное взаимодействие с С-концевой поверхностью зажима и способствуют его последующему раскрытию [26, 27].

Загрузчик бактериального зажима состоит из трех субъединиц — δ , δ' и γ/τ , которые собираются в гетеропентамер $\delta\delta'(\gamma/\tau)$ [26, 28–31]. Хотя субъединицы γ и τ кодируются одним и тем же геном, однако субъединица τ не участвует при загрузке зажима, и его урезание трансляционным сдвигом рамки считывания дает субъединицу γ . Таким образом, зажимный загрузчик, состоящий из $\delta\delta'\gamma$, носит название γ -комплекс. Каждая субъединица γ -комплекса имеет одинаковую архитектуру, состоящую из трех отдельных доменов [26]. Субъединицы всего γ -комплекса связываются с β -зажимом, но δ -субъединица является основной точкой контакта и отвечает за раскрытие кольца. В отсутствие АТФ δ -субъединица спрятана внутри γ -комплекса, и связана с соседней δ' -субъединицей. При связывании АТФ взаимодействие между δ и δ' нарушается, подставляя δ для связи с С-концевой поверхностью закрытого β -зажима. Далее СВМ-мотив на δ -субъединице впоследствии связывается с любым пептид-связывающим карманом на зажиме, дестабилизирует и открывает β -зажимное кольцо. После этого данный комплекс с открытым кольцевым зажимом специфически распознает и связывает ДНК, потом происходит гидролиз АТФ, который возвращает загрузчик зажима в низкоафинное состояние, которое приводит к его отсоединению, оставляя ДНК внутри раскрытого кольца. После отсоединения загрузчика электростатические взаимодействия между положительно заряженной внутренней поверхностью кольца скользящего зажима и отрицательно заряженной ДНК приводят к закрытию скользящего зажима вокруг ДНК [32–35].

Петля междоменного соединителя

β -зажим представляет собой димер, каждый мономер которого состоит из трех глобулярных доменов [1]. Между доменами каждого мономера есть по четыре петли междоменного соединителя (Inter-domain connector loop, IDCL). Димерное сопряжение состоит из связи β -нити имеющих принцип соединения «голова к хвосту», в результате чего образуется кольцевая форма. Область пептид-связывающего кармана, взаимодействующего с СВМ-мотивом, находится возле IDCL доменов II и III (см. рис.). Данный карман состоит из двух субсайтов: субсайта I между доменами II и III, глубина $\sim 8 \text{ \AA} \times 10 \text{ \AA}$ и $8,5 \text{ \AA}$, и в домене III менее глубокого $\sim 4,5 \text{ \AA}$ -субсайта II.

Каноническим мотивом пептидного взаимодействия является QL [SD] LF, где остатки LF связываются с субсайтом I пептид-связывающего кармана на втором домене, в то время как QL ориентированы на субсайт 2 пептид-связывающего кармана в третьем домене [36–39].

На рисунке ниже представлены архитектурные различия в прокариотических и эукариотических ДНК-зажимах, области связывания белка на зажимах. Доменная архитектура скользящих зажимов ДНК: (I) прокариотический мономер β -зажима PCNA состоит из 3 доменов, каждый из которых соединен петлей междоменного коннектора (IDCL). (II) димер бактериального зажима. Каждая субъединица здесь окрашена по-разному. Области взаимодействия с белками на зажиме показаны красным и голубым цветами. Красным отмечен субсайт I, а голубым — субсайт II на С-конце. Вместе они являются пептид-связывающим карманом (PBG). (III) зажим эукариотической ДНК, мономер ядерного антигена пролиферирующих клеток (PCNA), состоит из двух доменов, соединенных IDCL.

(IV) PCNA человека является тримером. Области, взаимодействующие с белками, также обозначены как субсайт I (красный) и субсайт II (голубой) [9].

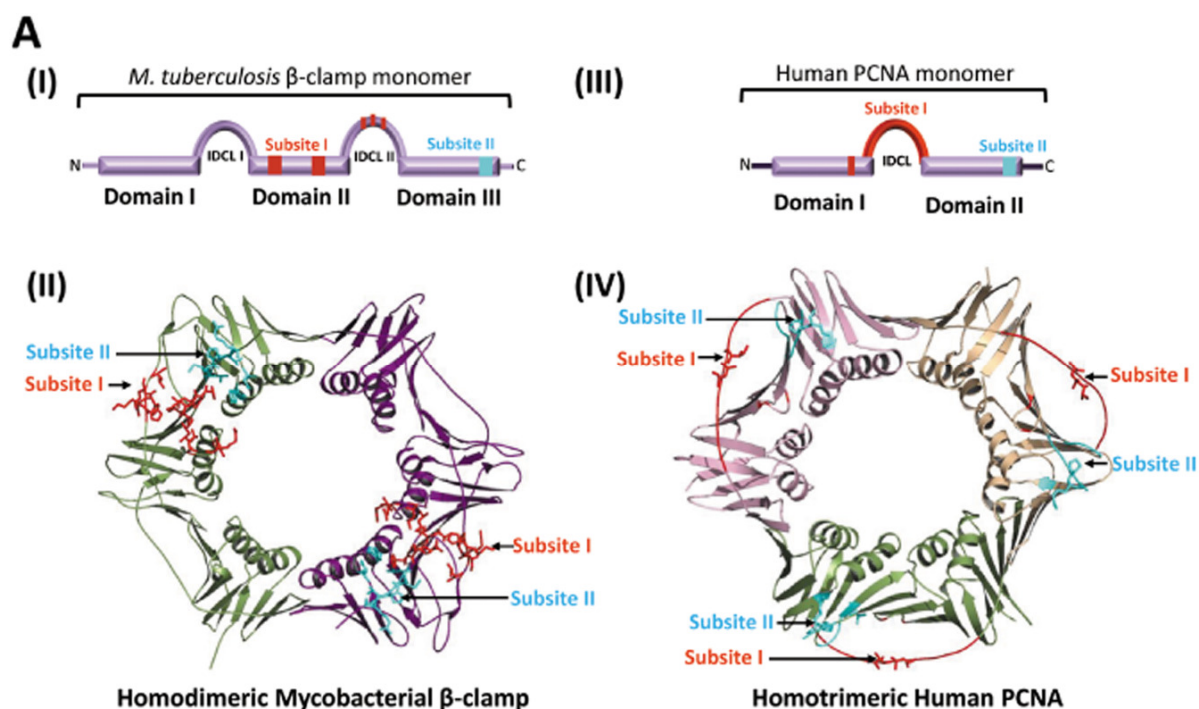


Рисунок. Архитектурные различия в прокариотических и эукариотических ДНК-зажимах, области связывания белка на зажимах

Заключение

Бактериальная реплисома является важным объектом для разработки новых антибиотиков для борьбы с лекарственно-устойчивыми штаммами, и бактериальные β -зажимы вызвали большой интерес как потенциальные мишени для антибактериальной терапии, поскольку являются важным компонентом репликативного и репарационного механизма: все пять ДНК-полимераз, включая множество других белков-партнеров, число которых продолжает расти, взаимодействуют с одним и тем же сайтом на зажиме, и, что особенно важно, ингибиторы связывания прокариотических белков не влияют на взаимодействия эукариотических PCNA-связывающих партнеров из-за отсутствия гомологии в последовательностях. Отсюда следует, что поиск новых белков партнеров, способных создавать комплексы с кольцевым зажимом через уникальные пептидные последовательности, — довольно актуальное направление в научной среде. Мы уже увидели, то, что остатки Leu и Phe этих последовательностей являются неотъемлемой частью связывающего взаимодействия. Рациональный дизайн ингибиторов пептид-связывающего кармана на основе таких тонких аспектов связывания мотивом может привести к разработке, как антибиотиков широкого спектра, так и видоспецифичных антибиотиков.

Исследование в первую очередь делает вклад не только для дальнейшего понимания внутриклеточных механизмов бактерий, но и, в частности, для подробного изучения бактериальной репарации и репликации ДНК как ключа для понимания устойчивости патогенов человеческого организма.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. (Грант № AP08856811).

Список литературы

- 1 Kong, X.P., Onrust, R., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (1992). Three-dimensional structure of the beta subunit of *E. coli* DNA polymerase III holoenzyme: a sliding DNA clamp. *Cell*, 69 (3); 425–437. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(92\)90445-i](https://doi.org/10.1016/0092-8674(92)90445-i)
- 2 Goedken, E.R., Kazmirski, S.L., Bowman, G.D., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (2005). Mapping the interaction of DNA with the *Escherichia coli* DNA polymerase clamp loader complex. *Nature structural & molecular biology*, 12(2); 183–190. <https://doi.org/10.1038/nsmb889>

- 3 Moldovan, G.L., Pfander, B., & Jentsch, S. (2007). PCNA, the maestro of the replication fork. *Cell*, 129(4); 665–679. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.05.003>
- 4 Mizrahi, V., Henrie, R.N., Marlier, J.F., Johnson, K.A., & Benkovic, S. J. (1985). Rate-limiting steps in the DNA polymerase I reaction pathway. *Biochemistry*, 24(15); 4010–4018. <https://doi.org/10.1021/bi00336a031>
- 5 Hedglin, M., Kumar, R., & Benkovic, S.J. (2013). Replication clamps and clamp loaders. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 5(4); a010165. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a010165>
- 6 Dalrymple, B.P., Kongsuwan, K., Wijffels, G., Dixon, N.E., & Jennings, P.A. (2001). A universal protein-protein interaction motif in the eubacterial DNA replication and repair systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20); 11627–11632. <https://doi.org/10.1073/pnas.191384398>
- 7 Johnson, R.E., Kovvali, G.K., Guzder, S.N., Amin, N.S., Holm, C., Habraken, Y., Sung, P., Prakash, L., & Prakash, S. (1996). Evidence for involvement of yeast proliferating cell nuclear antigen in DNA mismatch repair. *The Journal of biological chemistry*, 271 (45); 27987–27990. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.45.27987>
- 8 Clark, A.B., Valle, F., Drotschmann, K., Gary, R.K., & Kunkel, T.A. (2000). Functional interaction of proliferating cell nuclear antigen with MSH2-MSH6 and MSH2-MSH3 complexes. *The Journal of biological chemistry*, 275(47); 36498–36501. <https://doi.org/10.1074/jbc.C000513200>
- 9 Khanam, T., Rai, N., & Ramachandran, R. (2015). *Mycobacterium tuberculosis* class II apurinic/apyrimidinic-endonuclease/3'-5' exonuclease III exhibits DNA regulated modes of interaction with the sliding DNA β -clamp. *Molecular microbiology*, 98(1); 46–68. <https://doi.org/10.1111/mmi.13102>
- 10 Patoli, A.A., Winter, J.A., & Bunting, K.A. (2013). The UmuC subunit of the E. coli DNA polymerase V shows a unique interaction with the β -clamp processivity factor. *BMC structural biology*, 13; 12. <https://doi.org/10.1186/1472-6807-13-12>
- 11 Pandey, P., Tarique, K.F., Mazumder, M., Rehman, S.A., Kumari, N., & Gourinath, S. (2016). Structural insight into β -Clamp and its interaction with DNA Ligase in *Helicobacter pylori*. *Scientific reports*, 6; 31181. <https://doi.org/10.1038/srep31181>
- 12 Kurz, M., Dalrymple, B., Wijffels, G., & Kongsuwan, K. (2004). Interaction of the sliding clamp beta-subunit and Hda, a DnaA-related protein. *Journal of bacteriology*, 186 (11); 3508–3515. <https://doi.org/10.1128/JB.186.11.3508-3515.2004>
- 13 Matsumiya, S., Ishino, Y., & Morikawa, K. (2001). Crystal structure of an archaeal DNA sliding clamp: proliferating cell nuclear antigen from *Pyrococcus furiosus*. *Protein science: a publication of the Protein Society*, 10(1); 17–23. <https://doi.org/10.1110/ps.36401>
- 14 De Biasio, A., & Blanco, F.J. (2013). Proliferating cell nuclear antigen structure and interactions: too many partners for one dancer? *Advances in protein chemistry and structural biology*, 91; 1–36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411637-5.00001-9>
- 15 Havens, C.G., & Walter, J.C. (2009). Docking of a specialized PIP Box onto chromatin-bound PCNA creates a degron for the ubiquitin ligase CRL4Cdt2. *Molecular cell*, 35 (1); 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2009.05.012>
- 16 Liang, Z., Diamond, M., Smith, J.A., Schnell, M., & Daniel, R. (2011). Proliferating cell nuclear antigen is required for loading of the SMCX/KMD5C histone demethylase onto chromatin. *Epigenetics & chromatin*, 4(1); 18. <https://doi.org/10.1186/1756-8935-4-18>
- 17 De Biasio, A., Campos-Olivas, R., Sánchez, R., López-Alonso, J.P., Pantoja-Uceda, D., Merino, N., Villate, M., Martín-García, J.M., Castillo, F., Luque, I., & Blanco, F.J. (2012). Proliferating cell nuclear antigen (PCNA) interactions in solution studied by NMR. *PLoS one*, 7(11); e48390. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048390>
- 18 Gilljam, K.M., Feyzi, E., Aas, P.A., Sousa, M.M., Müller, R., Vågbø, C.B., Catterall, T.C., Liabakk, N.B., Slupphaug, G., Drablos, F., Krokan, H.E., & Otterlei, M. (2009). Identification of a novel, widespread, and functionally important PCNA-binding motif. *The Journal of cell biology*, 186 (5); 645–654. <https://doi.org/10.1083/jcb.200903138>
- 19 Müller, R., Misund, K., Holien, T., Bachke, S., Gilljam, K.M., Våtsveen, T.K., Rø, T.B., Bellacchio, E., Sundan, A., & Otterlei, M. (2013). Targeting proliferating cell nuclear antigen and its protein interactions induces apoptosis in multiple myeloma cells. *PLoS one*, 8(7); e70430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070430>
- 20 Sebesta, M., Cooper, C., Ariza, A., Carnie, C.J., & Ahel, D. (2017). Structural insights into the function of ZRANB3 in replication stress response. *Nature communications*, 8; 15847. <https://doi.org/10.1038/ncomms15847>
- 21 Stodola, J.L., & Burgers, P.M. (2016). Resolving individual steps of Okazaki-fragment maturation at a millisecond time-scale. *Nature structural & molecular biology*, 23(5); 402–408. <https://doi.org/10.1038/nsmb.3207>
- 22 Onrust, R., Stukenberg, P.T., & O'Donnell, M. (1991). Analysis of the ATPase subassembly which initiates processive DNA synthesis by DNA polymerase III holoenzyme. *The Journal of biological chemistry*, 266(32); 21681–21686.
- 23 Stukenberg, P.T., Studwell-Vaughan, P.S., & O'Donnell, M. (1991). Mechanism of the sliding beta-clamp of DNA polymerase III holoenzyme. *The Journal of biological chemistry*, 266(17); 11328–11334.
- 24 Neuwald, A.F., Aravind, L., Spouge, J.L., & Koonin, E.V. (1999). AAA+: A class of chaperone-like ATPases associated with the assembly, operation, and disassembly of protein complexes. *Genome research*, 9 (1); 27–43.
- 25 Erzberger, J.P., & Berger, J.M. (2006). Evolutionary relationships and structural mechanisms of AAA+ proteins. *Annual review of biophysics and biomolecular structure*, 35; 93–114. <https://doi.org/10.1146/annurev.biophys.35.040405.101933>
- 26 Bowman, G.D., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (2004). Structural analysis of a eukaryotic sliding DNA clamp-clamp loader complex. *Nature*, 429 (6993); 724–730. <https://doi.org/10.1038/nature02585>
- 27 Simonetta, K.R., Kazmirski, S.L., Goedken, E.R., Cantor, A.J., Kelch, B.A., McNally, R., Seyedin, S.N., Makino, D.L., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (2009). The mechanism of ATP-dependent primer-template recognition by a clamp loader complex. *Cell*, 137(4); 659–671. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.03.044>

- 28 Jeruzalmi, D., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (2001). Crystal structure of the processivity clamp loader gamma (gamma) complex of *E. coli* DNA polymerase III. *Cell*, 106 (4); 429–441. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(01\)00463-9](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(01)00463-9)
- 29 Oyama, T., Ishino, Y., Cann, I.K., Ishino, S., & Morikawa, K. (2001). Atomic structure of the clamp loader small subunit from *Pyrococcus furiosus*. *Molecular cell*, 8 (2); 455–463. [https://doi.org/10.1016/s1097-2765\(01\)00328-8](https://doi.org/10.1016/s1097-2765(01)00328-8)
- 30 Seybert, A., Singleton, M.R., Cook, N., Hall, D.R., & Wigley, D.B. (2006). Communication between subunits within an archaeal clamp-loader complex. *The EMBO journal*, 25 (10); 2209–2218. <https://doi.org/10.1038/sj.emboj.7601093>
- 31 Guenther, B., Onrust, R., Sali, A., O'Donnell, M., & Kuriyan, J. (1997). Crystal structure of the delta' subunit of the clamp-loader complex of *E. coli* DNA polymerase III. *Cell*, 91 (3); 335–345. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80417-1](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80417-1)
- 32 Leu, F.P., Hingorani, M.M., Turner, J., & O'Donnell, M. (2000). The delta subunit of DNA polymerase III holoenzyme serves as a sliding clamp unloader in *Escherichia coli*. *The Journal of biological chemistry*, 275(44); 34609–34618. <https://doi.org/10.1074/jbc.M005495200>
- 33 Turner, J., Hingorani, M.M., Kelman, Z., & O'Donnell, M. (1999). The internal workings of a DNA polymerase clamp-loading machine. *The EMBO journal*, 18 (3); 771–783. <https://doi.org/10.1093/emboj/18.3.771>
- 34 Stewart, J., Hingorani, M.M., Kelman, Z., & O'Donnell, M. (2001). Mechanism of beta clamp opening by the delta subunit of *Escherichia coli* DNA polymerase III holoenzyme. *The Journal of biological chemistry*, 276(22); 19182–19189. <https://doi.org/10.1074/jbc.M100592200>
- 35 Leu, F.P., & O'Donnell, M. (2001). Interplay of clamp loader subunits in opening the beta sliding clamp of *Escherichia coli* DNA polymerase III holoenzyme. *The Journal of biological chemistry*, 276 (50); 47185–47194. <https://doi.org/10.1074/jbc.M106780200>
- 36 Bunting, K.A., Roe, S.M., & Pearl, L.H. (2003). Structural basis for recruitment of translesion DNA polymerase Pol IV/DinB to the beta-clamp. *The EMBO journal*, 22 (21); 5883–5892. <https://doi.org/10.1093/emboj/cdg568>
- 37 Burnouf, D.Y., Olieric, V., Wagner, J., Fujii, S., Reinbolt, J., Fuchs, R.P., & Dumas, P. (2004). Structural and biochemical analysis of sliding clamp/ligand interactions suggest a competition between replicative and translesion DNA polymerases. *Journal of molecular biology*, 335 (5); 1187–1197. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2003.11.049>
- 38 Georgescu, R.E., Yurieva, O., Kim, S.S., Kuriyan, J., Kong, X.P., & O'Donnell, M. (2008). Structure of a small-molecule inhibitor of a DNA polymerase sliding clamp. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(32); 11116–11121. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804754105>
- 39 Altieri, A.S., & Kelman, Z. (2018). DNA Sliding Clamps as Therapeutic Targets. *Frontiers in molecular biosciences*, 5; 87. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2018.00087>

Р.Б. Азнабаева, А.М. Тургимбаева, Ұ.Ө. Зейн, С.К. Абельденов

Ақуыз-ақуыздың сырғымалы қысқыш әрекеттесуі үшін пептидтік тізбектер

Патогендік микроорганизмдердің антибиотиктерге төзімділігі бүгінгі күні бүкіл әлемде барған сайын қауіпті мәселеге айналуға, сонымен бірге жаңа антибактериалды нысандарды әзірлеу қажеттілігі артып келеді. Бактериялардан сырғымалы қысқыштар ашылған сәттен бастап көптеген зерттеулер жүргізді, олардың барысында оның ерекше қасиеттері ашылды — ДНҚ-мен байланысу, қалпына келтіру және репликация ақуыздарының белсенділігі мен тиімділігін арттыру мүмкіндігі, бұл бактериялардың ДНҚ зақымдалуына төзімділігін сақтаудағы үлкен рөлін көрсетеді. Қазіргі уақытта сырғымалы қысқыш функционалдық кешендер жасай алатын серіктес-ақуыздардың саны өсуде, сондықтан β-қысқыш жаңа антибиотиктерді іздеудің әлеуетті шешімі ретінде назар аударатын нысан болып табылады. Мақалада оның құрылымын жарықтандыру, құрылысын және әсер ету механизмін, сонымен қатар, оның барлық серіктес-белоктары үшін консервативті және ұқсас бірегей PIP β-қысқышты байланыстыру мотивін пайдалана отырып, көптеген серіктес-ақуыздарымен кешен құру қабілетін көрсететін кейбір зерттеулер ұсынылған.

Кілт сөздер: β-қысқыш, бактериялар, антибиотиктер, репарация, ақуыздар, төзімділік, ДНҚ, PIP-мотив.

R.B. Aznabayeva, A.M. Turgimbayeva, U.O. Zein, S.K. Abeldenov

Peptide sequences for protein–protein sliding clamp interactions

Today antibiotic resistance to pathogenic microorganisms is becoming an increasingly dangerous problem all over the world. At the same time, the need for the development of new antibacterial targets is growing. Since the discovery of sliding clamps in bacteria, a large number of studies have been carried out during which its unique properties, such as the ability to bind to DNA and increase the activity and efficiency of repair and replication proteins, have been discovered, which underlines its important role in maintaining bacteria resistance to DNA damage. At the moment, the number of partner proteins with which the sliding clamp is

able to create functional complexes continues to grow, and therefore the β -clamp is the object of close attention of scientists as a potential solution for finding new antibiotics. This review article presents some studies highlighting its structure, structure and mechanism of functioning, as well as its ability to form complexes with many partner proteins using a unique *PIP* β -clamp binding motif, which is conservative and similar for all partner proteins.

Keywords: β -clamp, bacteria, antibiotics, repair, proteins, resistance, DNA, *PIP*-motif.

Zh. Amirkhanova^{1*}, R. Bodeeva¹, S. Akhmetova²,
S.S. Kozhakhmetov³, A. Kushugulova³, L. Akhvlediani⁴

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

²Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan;

³Laboratory of Human Microbiome and Longevity "National Laboratory Astana" Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

⁴BAU International University, Batumi, Georgia;

*Corresponding author: janerkeamir@mail.ru

Influence of flax seeds on the reproduction rate of lactic acid bacilli when used in the experiment

When taking probiotics, probiotic bacteria do not always successfully take root in the human body, and prebiotics are used to stimulate their growth and metabolic activity. A wide range of biologically active substances of natural origin used as prebiotics is of special interest and positively impacts the probiotic bacteria. In this regard, priority is currently given to this problem in the leading scientific centers around the world. The research in the field of microbiology is acquiring special relevance: obtaining dairy products for healthy nutrition and preparations of biologically active living cultures of probiotic bacteria of a new generation with prebiotics. This article presents the study on the influence of flax seeds on the reproduction rate of lactic acid bacilli when used in the experiment. The modern microbiological methods were engaged in conducting the given experiment. MALDI-TOF MS was used to identify lactic acid bacilli. It has been found that the whole flaxseeds added into a fermentation medium for probiotic cultures stimulate cell proliferation of lactic acid bacilli *Lh13*, *Lpl-5*. This indicates some application potential for using a probiotic with some prebiotic added in the form of whole flax seeds.

Keywords: lactic acid bacilli, dietary fiber, culture media, cultivation, nutritional requirements, biomass, prebiotics, identification.

Introduction

For microbiological industry, it is paramount to expand a range of stock culture and improve the technology for obtaining and accumulating it. Some features of this process are focused on achieving the highest rate of biomass growth and producing probiotic cultures with high biological activity [1]. The biomass of probiotic crops accumulates in a nutrient medium containing sources of carbon, nitrogen, minerals, and vitamins. As the production of probiotic cultures grows bigger, the search for alternative raw materials to prepare nutrient media takes the leading place. The use of such raw materials, rich in carbohydrates, proteins and minerals, dietary fiber, allows for reducing costs and increasing the profitability of the enterprise [2–4].

The bacteria of the *Lactobacillus*, *Lacticaeibacillus*, *Lactiplantibacillus*, *Limosilactobacillus* genus are particularly susceptible to complex microorganisms [5]. The lactobacillus requires the substrates, which are a source of nutrition, do not grow on simple nutrient media, and need amino acids, vitamins, fatty acids, carbohydrates and nucleic acid derivatives to be introduced into them (individual for each type of lactobacillus) [6]. In addition to amino acids and vitamins, there are a number of other organic compounds, as well as the plant substrates required for the growth of lactobacillus or stimulating growth.

In the process of growth and reproduction, lactobacilli in their nutrient medium need stimulants of various natures. The use of plant-based and natural biologically active additives (BAAs) is known for its stimulating nature in the growth properties of lactic acid bacteria and is well-described in the scientific literature. A suspension obtained from soybean grains, walnut flour, *Laetiporus sulphureus* *Ls 1–06* mycelium biomass obtained by various types of cultivation, including liquid phase cultivation in the stationary phase can be considered as good examples [7–11].

Burmasova et al. [12] tried to obtain probiotic drugs with natural antioxidants. They studied the effect of low concentrations of Chaga mushroom's melanins on the growth of lactobacilli. The experiment showed that the action of melanins manifests itself in the exponential phase. Melanins at the concentrations of 10^{-10} g/cm³ and 10^{-5} g/cm³ contribute to the formation of more lactobacilli compared to the control group with a higher result of seeding, which is confirmed by the data of the mentioned study.

The Spanish researchers Pozuelo et al. investigated the ability of grape antioxidant dietary fiber to affect the microflora in the cecum in the experimental rats. Grape antioxidant dietary fiber is rich in polyphenol amines. The results showed that the consumption of grape antioxidant dietary fiber stimulates the growth of lactobacilli and affects the composition of bifidobacterial species, but only to an insignificant extent. It was also found that grape antioxidant dietary fiber has a stimulating effect on *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus in vitro* [13].

Warnakulasuriya et al. [14] studied the fermentation of dietary rice fiber with the joint cultivation of probiotic cultures of lactobacillus and bifidobacteria. The combined cultures grew on fiber from both rice varieties (LD356-RR1, red in color, brown rice, peel-free, and AT353-RR2, red in color, unpolished) achieving high rates of cell biomass accumulation. The study revealed some synergistic relations between these bacterial cultures. In this study, the high number of cells in the starter cultures provided high initial levels of cell count in the medium: 10^8 – 10^9 CFU/ml. Adding the fibrous substrate to the culture medium had a marked effect on the culture growth and viability, especially at 24-hour incubation, and in all culture combinations. This indicates the ability of co-cultures to use rice fiber as a growth-stimulating substrate. However, some joint strains of lacto- and bifido-bacterium cultures have shown a preference for glucose over fiber as a substrate. The microorganisms constituting the combinations reached the die-off phase after a short stationary phase, between 24 and 48 hours. The pH dropped down rapidly in all media reaching the lowest level after 6 hours of cultivation.

Akalin et al. [15] studied the microflora of probiotic ice cream with various enriched dietary fibers (apple, orange, oats, bamboo, and wheat) and the viability of cultures stored at $-18\text{ }^\circ\text{C}$ for 180 days. The experiment established a viable amount of *Lactobacillus acidophilus* ≥ 7 log CFU/g during storage with the exception of samples having orange and bamboo fiber in them. It was also found that the amount of *Bifidobacterium lactis* in these samples was >6 log CFU/g up to 150 days of storage.

Thus, a comparative literature review of pro- and pre-biotics, which can be used to cultivate lactic acid bacteria, demonstrates that the success of growing these microorganisms depends on the quality and composition of the medium, as well as the specifics of the stimulating components.

Polysaccharides of flaxseed are referred to as mucus-like high-molecular polysaccharides, in other words, mucus soluble in water. Along with a high content of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) and protein, flax seeds are characterized by the presence of a significant amount of soluble dietary fiber based on mucus polysaccharides. Flaxseed mucus also attracts attention as a source of biologically active oligosaccharides [16].

Linum usitatissimum L. or flaxseed is an important functional food ingredient as it is rich in α -linolenic acid (ALA, omega-3 fatty acid), lignans and fiber, which are potentially beneficial to human health. Due to the high content of polysaccharides, the decoction of flax seeds has an enveloping and bactericidal effect. The F, A, E, B vitamins and flax seeds are excellent external sources of important vitamin F, which is actively involved in fat and cholesterol metabolism. The five main nutritional components of flaxseed are fiber, protein, lignans, oil, and vitamins, which are determined by the methods of gas chromatography and high-performance liquid chromatography (HPLC) [17–18].

Coarse flaxseed is rich in biologically active compounds, and its extracts have a strong anti-radical activity [19]. It contains the largest amount of secoisolariciresinol diglucoside (SDG) of plant lignan [20].

Numerous studies have shown that the consumption of flaxseed leads to an improvement in the metabolism of glucose or lipids [21, 22].

The current study on flax seeds is at the center of increased interest in the field of research on the health benefits associated with its individual components and their biological activity.

The given work aims to optimize the intensity of reproduction of lactobacillus cells by rational cultivation with raw extract of flaxseeds added in various concentrations.

Experimental

The lactobacillus isolates of *L. helveticus-13* (*Lh-13*) and *L. plantarum-5* (*Lpl-5*) isolated from national lactic acid products, which are produced by artisanal traditional method in different districts of the Karaganda region were used for the experiment. The obtained isolates were identified by *MALDI BioTyper* [23].

To assess the growth of *Lh-13*, *Lpl-5* lactobacillus isolates with added raw extract flaxseeds (whole flaxseed used from *Zerde Phyto-tea*), a growth curve was used. Further, a sterile enzymatic medium was used for probiotic cultures [24] to cultivate the *Lh-13*, *Lpl-5* lactobacillus isolates with added raw extract of

flaxseeds. For the control group, 50 µl of inoculate containing 10^5 CFU/ml of *Lh-13*, *Lpl-5* isolates was added to the enzymatic medium for probiotic cultures with no raw extract of flaxseeds.

In the experimental groups, the raw extract of lax seeds was used at the concentrations of 5%, 10%, 15% in the enzymatic medium for probiotic cultures (100 ml) with 50 µl of inoculated suspension containing 10^5 CFU/ml of *Lh-13*, *Lpl-5* lactobacillus isolates. After suspension, it was cultured at 37°C under anaerobic conditions.

The growth rate was determined by the increase in optical density. Throughout the culture cycle, the samples were well mixed in a magnetic stirrer at regular intervals. The fermented liquid was taken from the samples under study, and the optical density of the suspension was measured by the *TecanEVolizer100* (*Tecan*) laboratory robot at the wavelength of 490 nm. The trials were carried out three times with the results expressed in the form of an arithmetic mean.

The control microscopy was performed in the control and experimental groups during cultivation. The samples were taken for microscopy every 0, 8, 16, 24, 36, 48, 72 hours. The Gram stain method was used.

Results and Discussion

Based on the obtained data, growth curves were constructed within 72 hours. When analyzing the constructed growth curves, it can be concluded that when raw extract is added to the medium, the growth of *Lh-13*, *Lpl-5* lactobacillus isolates increases. In all experiments and in the control group, the optical density values varied.

Some significant increase in the optical density of the culture fermented liquid was recorded in 8 hours of cultivation in the experimental groups. Nevertheless, the control groups showed an increase in cells only after 8 hour.

After 8 hours of cultivation, growth is accelerated due to the faster growth of *Lh-13*, *Lpl-5* isolates and the consumption of nutrients from the culture fermented liquid (Fig. 1, 2).

After 16, 24, 36 hours of cultivation with 5%, 10%, 15% of raw extract of the flaxseed added to it, the reproduction rate of cell increases. In 48 hours of cultivation, the biomass of the cells reached its maximum in each experimental group in all concentrations.

In the experimental groups with the addition of 5%, 10% raw extract of flaxseeds after 48 hours, one could observe the onset of the growth inhibition. Meanwhile, the growth of lactobacillus is constant in case of the addition of 15% raw flaxseed extract with the optical density being slightly varied. In the control groups, a decrease in values is well observed during cultivation of 48 hours with some decrease in the biomass. There was an imbalance and rapid death of cell biomass observed.

The study on the effect of the accumulated maximum cell count of *Lh-13*, *Lpl-5* isolates with the addition of 5%, 10% concentration of raw flaxseed extract was conducted at the acidity value of the medium varied from pH 5.6; 5.8; 6.0; 6.1 and at the temperature of 37°C (8–72 h).

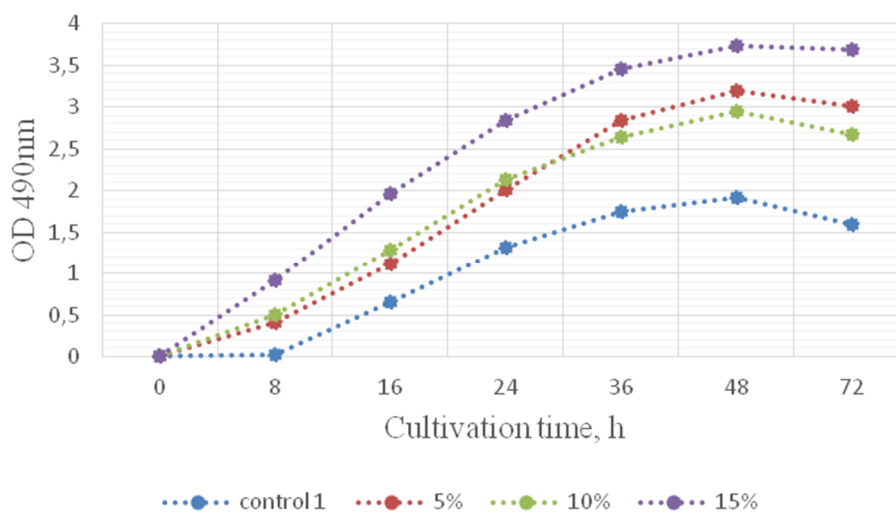


Figure 1. Dynamics of optical density of cell multiplication of *Lh-13* isolate in the enzymatic medium with added raw extract of flaxseed at the concentrations of 5%, 10%, 15%

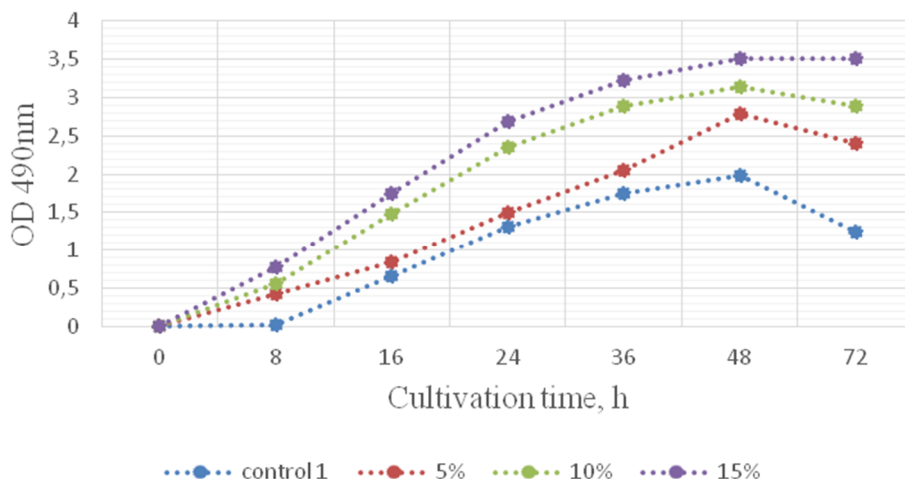


Figure 2. Dynamics of optical density of cell reproduction of *Lpl-5* isolate cells in the enzymatic medium with added raw extract of flaxseed at the concentrations of 5%, 10%, 15%

In the medium with a 15% concentration of raw flaxseed extract added to the *Lh-13*, *Lpl-5* isolates, the acidity activity of the medium varied from pH 5.5–6.2. In 24–48 hours, the acidity of the medium was maintained at the pH level of 5.5–5.7. In the control samples, the acidity of the medium ranged from 5.7–6.0. The analysis of the presented results shows that the highest cell content was as follows: *Lh-13* isolates OD = 3.73 (48 h) and *Lpl-5* OD = 3.52 (48 h).

This study is fully consistent with other researchers who have similarly reported that the use of prebiotics helps to stimulate cell growth of lactobacillus. By combining these two components in so-called synbiotic products, one can expect a positive effect on the intestinal microflora [25–27].

In our opinion, dietary fiber is an additional substrate with a certain set of substances capable of satisfying the nutritional needs of lactobacillus: vitamins, micro- and macro-elements, which are indispensable factors for the growth of lactobacillus.

In the course of research, it was found that introducing such prebiotics as raw extract of flaxseeds in the concentrations of 1–5% into the nutrient medium allows for maximizing the development of the studied *Lh-13*, *Lpl-5* isolates. This is expressed in an increase in the rate of cell reproduction, which is a rational management process. Whereas 5–10% of the added stimulant for 72 hours causes a decrease in the culture growth (OD). The analysis of the obtained data demonstrates that the intensity of reproduction of the studied isolates depends on the type and amount of growth stimulant introduced.

In the control and prototype samples, microscopy showed that the gram-positive rods of the cell are located: singly, in pairs and in clusters. They were immobile and typical for lactic acid bacilli, forming no spores.

According to the results of this study, raw flaxseed extract (*Linum usitatissimum* L.) may be a potential prebiotic to stimulate the growth of bacteria in the colon. The raw flaxseed extract is a promising nutritional basis to cultivate lactobacillus. Therefore, flaxseed mucus has prebiotic properties, which, in turn, allows us to consider the possibility of including it in functional products.

Thus, in case of correct selection of dietary fiber (raw extract of the flaxseed), an attempt was made to achieve significant results in cultivating the *Lh-13*, *Lpl-5* lactobacillus in an experiment to increase the stimulating properties of probiotic cultures.

Conclusions

The up-to-date microbiological technologies dictate the relevance of the use of flaxseed dietary fiber. They have a unique composition and are rich in dietary fiber, which can meet the nutritional needs of lactobacillus. The use of flaxseed dietary fiber stimulates the growth of lactobacilli and will help to determine the appropriate growth-stimulating concentrations of dietary fiber by randomized selections in the experiment while improving the nutritional value and biological activity of starters to be used in the finished product. The beneficial effects of dietary fiber can be improved when combined with prebiotic cultures.

References

- 1 Lysenko, Yu.A., Luneva, A.V., Volkova, S.A., Nikolaenko, S.N., & Petrova, V.V. (2014). Podbor optimalnoi pitatelnoi sredy dlia kultivirovaniia, kontsentrirvaniia i vysushivaniia kletok *Lactobacillus acidophilus* [Selection of optimal nutrient medium for cultivation, concentration and drying of *Lactobacillus acidophilus* cells]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 102 (08); 1–11 [in Russian].
- 2 Alekseeva, T.V., Riaskina, L.O., & Rodionov, A.A. (2016). Novye sinbioticheskie pishchevye sistemy dlia profilakticheskogo pitaniia [New synbiotic food systems for preventive nutrition]. *Izvestiia vuzov. Seriiia Pishchevaia tekhnologiia — Bulletin of Higher Educational Institutions. Food Technology*, 4 (352); 44–47 [in Russian].
- 3 Ghosh, C., Sarkar, P., Issa, R., & Haldar, J. (2019). Alternatives of conventional antibiotics in the era of antimicrobial resistance. *Trends Microbiol.*, 27(4); 323–328.
- 4 Ardatskaia, M.D. (2010). *Klinicheskoe primenenie pishchevykh volokon: metodicheskoe posobie [Clinical use of dietary fiber. Methodical manual]*. Moscow: 4TE Art [in Russian].
- 5 Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C.M.A.P., Harris, H.M.B., & Mattarelli, P. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 70(2); 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>.
- 6 Bespomestnykh, K.V. (2015). Izuchenie vliianiia sostava pitatelnoi sredy na izmenenie biokhimicheskikh i morfologicheskikh svoistv shtammov laktobatsill [Study of the influence of the composition of the nutrient medium on the change in the biochemical and morphological properties of strains of lactobacilli]. *Zhurnal «Nauchnoe obozrenie». Seriiia: Tekhnicheskie nauki — Scientific Review Journal. Technical Sciences*, 1; 77, 78 [in Russian].
- 7 Drozdov, R.A., Kozhukhova, M.A., & Barkhatova, T.V. (2016). Optimizatsiia retseptury probioticheskogo kislomolochnogo napitka s dobavleniem pishchevykh volokon topinambura [Optimization of the formulation of a probiotic fermented milk drink with the addition of Jerusalem artichoke dietary fiber]. *Polzunovskii vestnik — Polzunov Bulletin*, 4 (2); 4–11 [in Russian].
- 8 Domotenko, L.V., Shepelin, A.P., & Detushev, K.P. (2014). Sravnitelnye ispytaniia laktobakagar i MRS agara [Comparative tests of lactobacillus and MRS agar]. *Kurskii nauchno-prakticheskii vestnik «Chelovek i ego zdorove» — Kursk Scientific and Practical Bulletin “Man and His Health”*, 4; 5–10 [in Russian].
- 9 Van de Castele, S., Vanheuverzwijn, T., & Ruysen, T. (2006). Evaluation of culture media for selective enumeration of probiotic strains of lactobacilli and bifidobacteria in combination with yoghurt or cheese starter. *Int Dairy J.*, 16 (12); 1470–1476.
- 10 Veliamov, M.T., Chizhaeva, A.V., Vorobev, A.L., & Dudikova, G.N. (2015). Pitatelnaia sreda dlia vyrashchivaniia probioticheskikh mikroorganizmov na osnove molochnoi syvorotki i rastitelnykh nanoporoshkov [Nutrient medium for growing probiotic microorganisms based on whey and plant nanopowders]. *Innovatsionnyi patent № 29970 — Innovating Patent No. 29970* [in Russian].
- 11 Manju, P., & Danik, M. (2012). Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products. *Functional foods in Health and Disease*, 2 (10); 369–378.
- 12 Burmasova, M.A., Miljuhina, A.K., Mubarakshina, G.Sh., Utebaeva, A.A., & Sysoeva, M.A. (2017). Rost laktobakterii na srede s melaninami chagi [Growth of lactobacilli on a medium with chaga melanins]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta — Bulletin of Technological University*, 20 (8); 152–154 [in Russian].
- 13 Pozuelo, M.J., Agis-Torres, A., Hervert-Hernandez, D., Lopez-Oliva, M.E., Munoz-Martinez, E., & Rotger, R. (2012). Grape Antioxidant Dietary Fiber Stimulates *Lactobacillus* Growth in Rat Cecum. *Journal of Food Science.*, 77 (2); 59–62.
- 14 Warnakulasuriya, M.A.D.B.F., Flint, S., Zou, M., & Brennan, C.S. (2011). The effect of rice fibre fractions on the growth of co-cultures of probiotics. *Journal Food Science and Technology*, 48 (1); 14–25.
- 15 Akalin, A.S., Kesenkas, H., Dinkci, N., Unal, G., & Ozer, E. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *Journal of the American Dairy Science Association January*, 8 (101); 37–46.
- 16 Minevich, I.Ye., Osipova, L.L., Nechiporenko, A.P., Smirnova, E.I., & Melnikova, M.I. (2018). Osobennosti protsessa ekstraktii polisaharidov slizi iz semian lna [Features of the process of extraction of mucus polysaccharides from flax seeds]. *Nauchnyi zhurnal natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta ITMO. Seriiia Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv — Scientific Journal of National Research University ITMO. Series Processes and Food Production Equipment*, 2, 3–11 [in Russian].
- 17 Ivanova, S., Rashevskaya, T., & Makhonina, M. (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia. Food Sci.*, 1; 275–280.
- 18 Alhassane, T., & Xu, X. M. (2010). Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components and health benefits. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 9; 261–269.
- 19 Tavarini, S., De Leo, M., Matteo, R., Lazzeri, L., Braca, A., & Angelini, A. (2021). Flaxseed and Camelina Meals as Potential Sources of Health-Beneficial Compounds. *Plants*. 10; 156. <https://doi.org/10.3390/plants10010156>
- 20 Zhang, W., Wang, X.B., Liu, Y., Tian, H.M., Flickinger, B., Empie, M.W., & Sun, S.Z. (2008). Dietary Flaxseed Lignan Extract Lowers Plasma Cholesterol and Glucose Concentrations in Hypercholesterolaemic Subjects. *British Journal of Nutrition*, 99, 1301–1309. <https://doi.org/10.1017/S0007114507871649>
- 21 Almeahmadi, A., Lightowler, H., Chohan, M., & Clegg, M.E. (2021). The Effect of a Split Portion of Flaxseed on 24-h Blood Glucose Response. *European Journal of Nutrition*, 60; 1363–1373. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02333-x>

22 El-Seedy, G.M., El-Shafey, E.S., & Elsherbiny, E.S. (2021). Fortification of Biscuit with Sidr Leaf and Flaxseed Mitigates Immunosuppression and Nephrotoxicity Induced by Cyclosporine. *A. Journal of Food Biochemistry*, 45; 13655. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13655>

23 Alatoom, A.A., Cunningham, S.A., Ihde, S.M., Mandrekar, J.N., & Patel, R. (2011). Comparison of Direct Colony Method versus Extraction Method for Identification of Gram-Positive Cocci by Use of Bruker Biotyper Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization–Time of Flight Mass Spectrometry. *J. Clin Microbiol*, 49(8); 2868–2873. <https://doi.org/10.1128/JCM.00506-11>

24 Kushugulova, A.R., Saduahasova, S.A., Shahabaeva, G.S., Kozhahmetov, S.S., Tynybaeva, I.K., Nurgozhin, T.S., & Zhumadilov, Zh.Sh. (2015). *Fermentatsionnaia sreda dlia probioticheskikh kultur [Fermentation medium for probiotic cultures]*. Innovatsionnyi patent № 29528 — Innovative Patent No. 29528 [in Russian].

25 Lee, J.K., Cho, H.R., Kim, K.Y., Lim, J.M., Jung, G.W., Sohn, J.H., & Choi, J.S. (2014). The growth — stimulating effects of fermented rice extract (FRE) on lactic acid bacteria and Bifidobacterium spp. *Food Science and Technology Research*, 20; 479–483.

26 Dong-Hyeon, K., Jeong, D., Oh, Y.-T., Song, K.-Y., Kim, H.-S., Chon, J.-W., Kim, H., & Seo, K.-H. (2017). Stimulating the Growth of Kefir-isolated Lactic Acid Bacteria using Addition of Crude Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Extract. *J. Milk Sci. Biotechnol*, 35(2); 93–97.

27 Theegala, M., Arévalo, R.A.C., Viana, V., Olson, D., & Aryana, K. (2021). Effect of Flaxseed on Bile Tolerances of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, and *Streptococcus thermophilus*. *Food and Nutrition Sciences*, 12 (7); 670–680. <https://doi.org/10.4236/fns.2021.127050>

Ж. Амирханова, Р. Бодеева, С. Ахметова, С. Кожаметов, А. Кушугулова, Л. Ахвледяни

Зығыр тұқымының сүтқышқылды таяқшалардың көбею қарқындылығына әсері

Пробиотиктерді қабылдау кезінде пробиотикалық бактериялар адам ағзасында әрдайым сәтті бола бермейді және пребиотиктер олардың өсуі мен метаболиттік белсенділігін ынталандыру үшін қолданылады. Пребиотиктер ретінде пробиотикалық бактерияларға оң әсер ететін табиғи биологиялық белсенді заттардың кең жиынтығын қолдану ерекше қызығушылық тудырады. Осыған байланысты, қазіргі уақытта бұл мәселе әлемнің жетекші ғылыми орталықтарында өзектілікке ие болып отыр. Оның ішінде маңыздылығы бойынша микробиология саласындағы зерттеулер айрықша орын алуда, яғни биологиялық қасиеттері бойынша белсенді пробиотикалық бактериялардың тірі дақылын және пребиотиктерді сүтқышқылды өнімдер мен жаңа буынды препараттарға енгізу қарастырылуда. Мақалада зығыр тұқымының сүтқышқылды таяқшалардың көбею қарқындылығына әсері зерттелді. Экспериментте микробиологиялық зерттеу әдістері қолданылды. Сүтқышқылды таяқшаларды идентификациялау MALDI-TOF MS әдісі арқылы анықталды. Пробиотикалық дақылдарға арналған ферментативтік ортаға зығыр тұқымының шикі сығындысын қосу арқылы сүт қышқылды таяқша изоляттарының *Lh13*, *Lpl-5* көбеюін ынталандыратыны анықталды, бұл нәтижелер зерттеліп отырған пробиотикалық изоляттардың зығыр тұқымы бар пребиотиктермен қолдану туралы келешегін айғақтайды.

Кілт сөздер: сүт қышқылды таяқшалар, тағамдық талшық, қоректік орта, дақылдандыру, қоректік қажеттілік, биомасса, пребиотиктер, идентификация.

Ж. Амирханова, Р. Бодеева, С. Ахметова, С. Кожаметов, А. Кушугулова, Л. Ахвледяни

Влияния семян льна на интенсивность размножения молочнокислых палочек в эксперименте

При приеме пробиотиков пробиотические бактерии не всегда успешно приживаются в организме человека, и для стимуляции их роста и метаболитической активности используют пребиотики. Представляет особый интерес применение в качестве пребиотиков широкого набора биологически активных веществ природного происхождения, оказывающих на пробиотические бактерии положительное влияние. В связи с этим, в данное время приоритет отдается этой проблеме в ведущих научных центрах мира, особую актуальность приобретают исследования в области микробиологии: получение молочных продуктов здорового питания и препаратов нового поколения, содержащих биологически активные живые культуры пробиотических бактерий с пребиотиками. В статье представлено изучение влияния семян льна на интенсивность размножения молочнокислых палочек в эксперименте. В ходе эксперимента применялись различные микробиологические методы. Идентификация молочнокислых палочек определяли методом MALDI-TOF MS. Было установлено, что добавление сырого экстракта семян льна в ферментативную среду для пробиотических культур стимулирует размножение клеток

изолятов молочнокислых палочек *Lh13*, *Lpl-5*, что свидетельствует о перспективности данных пробиотических культур для использования пробиотика с добавлением пребиотика — семян льна.

Ключевые слова: молочнокислые палочки, пищевые волокна, питательные среды, культивирование, питательная потребность, биомасса, пребиотики, идентификация.

References

- 1 Лысенко Ю.А. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования, концентрирования и высушивания клеток *Lactobacillus acidophilus* / Ю.А. Лысенко, А.В. Лунева, С.А. Волкова, С.Н. Николаенко, В.В. Петрова // Политематич. сет. электрон. науч. журн. Кубан. гос. аграр. ун-та. — 2014. — № 102 (08). — С. 1–11.
- 2 Алексеева Т.В. Новые синбиотические пищевые системы для профилактического питания / Т.В. Алексеева, Л.О. Рясина, А.А. Родионов // Изв. вузов. Сер. Пищевая технология. — 2016. — № 4 (352). — С. 44–47.
- 3 Ghosh C. Alternatives of conventional antibiotics in the era of antimicrobial resistance / C. Ghosh, P. Sarkar, R. Issa, J. Haldar // Trends Microbiol. — 2019. — No. 27 (4). — P. 323–328. <https://10.1016/j.tim.2018.12.010>
- 4 Ардатская М.Д. Клиническое применение пищевых волокон: метод. пос. / М.Д. Ардатская. — М.: 4ТЕ Арт, 2010. — 48 с.
- 5 Zheng J. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus Beijerinck* 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae* / J. Zheng, S. Wittouck, E. Salvetti, C.M.A.P. Franz, H.M.V. Harris, P. Mattarelli // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. — 2020. — Vol. 70 (2). — P. 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>.
- 6 Беспоместных К.В. Изучение влияния состава питательной среды на изменение биохимических и морфологических свойств штаммов лактобацилл / К.В. Беспоместных // Журн. «Научное обозрение». Сер. Технические науки. — 2015. — № 1. — С. 77, 78.
- 7 Дроздов Р.А. Оптимизация рецептуры пробиотического кисломолочного напитка с добавлением пищевых волокон топинамбура / Р.А. Дроздов, М.А. Кожухова, Т.В. Бархатова // Ползунов. вестн. — 2016. — Т. 2, № 4. — С. 4–11.
- 8 Домотенко Л.В. Сравнительные испытания лактобакагар и MRS агара / Л.В. Домотенко, А.П. Шепелин, К.В. Детушев // Курский науч.-практ. вестн. «Человек и его здоровье». — 2014. — № 4. — С. 5–10.
- 9 Van de Castele S. Evaluation of culture media for selective enumeration of probiotic strains of lactobacilli and bifidobacteria in combination with yoghurt or cheese starter / S. Van de Castele, T. Vanheuverzwijn, T. Ruysen // Int Dairy J. — 2006. — Vol. 16, Iss. 12. — P. 1470–1476.
- 10 Велямов М.Т. Питательная среда для выращивания пробиотических микроорганизмов на основе молочной сыворотки и растительных нанопорошков / М.Т. Велямов, А.В. Чижаева, А.Л. Воробьев, Г.Н. Дудикова // Инновационный патент № 29970. Оpubл. 15.06.2015.
- 11 Manju P. Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products / P. Manju, M. Danik // Functional foods in Health and Disease. — 2012. — No. 2 (10). — P. 369–378.
- 12 Бурмасова М.А. Рост лактобактерий на среде с меланинами чаги / М.А. Бурмасова, А.К. Милюхина, Г.Ш. Мубаракшина, А.А. Утебаева, М.А. Сысоева // Вестн. технолог. ун-та. — 2017. — Т. 20, № 8. — С. 152–154.
- 13 Pozuelo M.J. Grape Antioxidant Dietary Fiber Stimulates *Lactobacillus* Growth in Rat Cecum / M.J. Pozuelo, A. Agis-Torres, D. Hervert-Hernandez, M.E. Lopez-Oliva, E. Munoz-Martinez, R. Rotger // Journal of Food Science. — 2012. — Vol. 77, No. 2. — P. 59–62.
- 14 Warnakulasuriya M.A.D.B.F. The effect of rice fibre fractions on the growth of co-cultures of probiotics / M.A.D.B.F. Warnakulasuriya, S. Flint, M. Zou, C.S. Brennan // Journal Food Science and Technology. — 2011. — Vol. 48(1). — P. 14–25.
- 15 Akalin A.S. Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability / A.S. Akalin, H. Kesencas, N. Dinkci, G. Unal, E. Ozer // Journal of the American Dairy Science Association January. — 2018. — Vol. 101. — P. 37–46.
- 16 Миневич И.Э. Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, А.П. Нечипоренко, Е.И. Смирнова, М.И. Мельникова // Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. — 2018. — № 2. — С. 3–11.
- 17 Ivanova S. Flaxseed additive application in dairy products production / S. Ivanova, T. Rashevskaya, M. Makhonina // Procedia. Food Sci. — 2011. — Vol. 1. — P. 275–280.
- 18 Alhassane T. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components and health benefits / T. Alhassane, X.M. Xu // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. — 2010. — Vol. 9. — P. 261–269.
- 19 Tavarini S. Flaxseed and Camelina Meals as Potential Sources of Health-Beneficial Compounds / S. Tavarini, M. De Leo, R. Matteo, L. Lazzeri, A. Braca, A. Angelini // Plants. — 2021. — No. 10. — P. 156. <https://doi.org/10.3390/plants10010156>.
- 20 Zhang W. Dietary Flaxseed Lignan Extract Lowers Plasma Cholesterol and Glucose Concentrations in *Hypercholesterolemia* Subjects / W. Zhang, X.B. Wang, Y. Liu, H.M. Tian, B. Flickinger, M.W. Empie, S.Z. Sun // British Journal of Nutrition. — 2008. — No. 99. — P. 1301–1309. <https://doi.org/10.1017/S0007114507871649>.

- 21 Almeahmadi A. The Effect of a Split Portion of Flaxseed on 24-h Blood Glucose Response / A. Almeahmadi, H. Lightowler, M. Chohan, M.E. Clegg // *European Journal of Nutrition*. — 2021. — No. 60. — P. 1363–1373. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02333-x>.
- 22 El-Seedy G.M. Fortification of Biscuit with Sidr Leaf and Flaxseed Mitigates Immunosuppression and Nephrotoxicity Induced by Cyclosporine A / G.M. El-Seedy, E.S. El-Shafey, E.S. Elsherbiny // *Journal of Food Biochemistry*. — 2021. — No. 45. — Article ID 13655. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13655>.
- 23 Alatoon A.A. Comparison of Direct Colony Method versus Extraction Method for Identification of Gram-Positive Cocci by Use of Bruker Biotyper Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization –Time of Flight Mass Spectrometry / A.A. Alatoon, S.A. Cunningham, S.M. Ihde, J.N. Mandrekar, R. Patel // *J. Clin Microbiol.* — 2011. — No. 49(8). — P. 2868–2873. <https://doi.org/10.1128/JCM.00506-11>.
- 24 Кушугулова А.П. Ферментационная среда для пробиотических культур / А.П. Кушугулова, С.А. Садуахасова, Г.С. Шахабаева, С.С. Кожаметов, И.К. Тыныбаева, Т.С. Нургожин, Ж.Ш. Жумадилов // *Инновационный патент № 29528*. Оpubл. 16.02.2015.
- 25 Lee J.K. The growth — stimulating effects of fermented rice extract (FRE) on lactic acid bacteria and *Bifidobacterium* spp / J.K. Lee, H.R. Cho, K.Y. Kim, J.M. Lim, G.W. Jung, J.H. Sohn, J.S. Choi // *Food Science and Technology Research*. — 2014. — Vol. 20. — P. 479–483.
- 26 Dong-Hyeon K. Stimulating the Growth of Kefir-isolated Lactic Acid Bacteria using Addition of Crude Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Extract / K. Dong-Hyeon, D. Jeong, Y.-T. Oh, K.-Y. Song, H.-S. Kim, J.-W. Chon, H. Kim, K.-H. Seo // *J Milk Sci. Biotechnol.* — 2017. — No. 35(2). — P. 93–97.
- 27 Theegala M. Effect of Flaxseed on Bile Tolerances of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, and *Streptococcus thermophilus* / M. Theegala, R. A.C. Arévalo, V. Viana, D. Olson, K. Aryana // *Food and Nutrition Sciences*. — 2021. — Vol. 12, No. 7. — P. 670–680. <https://doi.org/10.4236/fns.2021.127050>

A.A. Arystanbay¹, A.G. Zhumina^{2*}, V.O. Klunnaya²

¹*S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan;*

²*Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan;*

**Corresponding author: asbiol@list.ru*

Vitamin D and its influence on human immune system

This review presents modern domestic and foreign studies of vitamin D levels effect on the human immune system. Numerous data are presented on the participation of vitamin D in the regulation of immune responses. In recent years, more and more attention has been paid to the problem of vitamin D deficiency in the body of patients with autoimmune diseases. The significance of vitamin D in immune regulation is confirmed by the results of many experimental studies, clinical and epidemiological observations that demonstrate the relationship between low levels of the vitamin D and increased susceptibility to various infections, as well as the activity of the infectious process of viral, bacterial, and fungal etiology. Vitamin D acts both directly and indirectly on immune cells such as B and T lymphocytes, dendritic cells and macrophages. The review focuses on the molecular mechanisms of activation of the immune response under the influence of vitamin D. Vitamin D exerts its effect through binding to the vitamin D receptor (VDR), which, in turn, together with other proteins, activates the transcription of protein genes involved in the body's immune response. In this regard, it is necessary to draw the attention of researchers to the problem of the daily intake of vitamin D, especially in a pandemic situation.

Keywords: vitamin D, calcitriol, vitamin D receptor (VDR), innate immunity, adaptive immunity, autoimmune diseases.

In recent years, there has been a global trend of deterioration in the health of the population, which is associated with environmental disasters, deterioration of food quality, an increase in viral infections, and social instability in society. Currently, a special place in the development of various human pathologies is given to VD, which is considered a multifunctional hormone that regulates numerous processes in the human body at the gene level [1–3].

The VD status in the human body is assessed by measuring blood levels of 25(OH)D, since its serum concentrations are more stable and are less influenced by hormonal mechanisms and by changes in calcium and phosphorus levels, as compared to 1,25(OH)₂D₃ [4]. Most researchers agree that 25(OH) D levels below 10–12 ng/mL (25–30 nmol/L) represent clinical deficiency, which is considered a global health problem [5–7].

VD deficiency provokes the development of diabetes mellitus (DM), cardiovascular diseases, multiple sclerosis, and other autoimmune diseases, chronicity of infectious diseases such as tuberculosis and periodontal disease [1, 8]; it is associated with an increased risk of colorectal and bladder cancers, while for breast, ovarian, and prostate cancers, this association appears to be more controversial [9].

This review focuses on the current data on the effect of VD on various parts of the immune system in normal conditions, as well as in autoimmune diseases. The purpose of the review is to study the VD effects on the mechanisms of both innate and acquired immunity.

VD is a secosterol produced endogenously in the skin due to sunlight or obtained from the outside (food, drugs) [1–3]. In the human body, VD is hydroxylated. The first stage of hydroxylation occurs in the liver and converts VD to 25-hydroxyVD (25(OH) D), also known as calcidiol. The second stage of hydroxylation occurs mainly in the kidneys (with the participation of the enzyme CYP27B1 — α -hydroxylase), and its result is the synthesis of the physiologically active D-hormone, 1,25 dihydroxyVD (1,25(OH)₂D) [8]. The level of calcitriol in the blood is determined mainly by the activity of CYP27B1 in the kidneys and the action of parathyroid hormone, it is tightly regulated by negative feedback, which is closed by the inhibition of CYP27B1 by a high concentration of calcitriol itself and fibroblast growth factor 23. Stimulation of the CYP24A1 enzyme also acts as a limitation in the formation of the active form of the vitamin (24-hydroxylase), which converts calcitriol into an inactive, water-soluble form of calcitric acid, which is subsequently excreted from the body with bile [10]. Immune cells also express CYP27B1 and are able to convert a circulating in the 25(OH)D into 1,25(OH)₂D in an autocrine and paracrine manner. It is noteworthy that it is in immune cells such as macrophages and dendritic cells (DC), unlike kidney cells, that

there are no negative feedback mechanisms, which makes it possible to produce very high, but local concentrations of calcitriol for the needs of immunomodulation [11].

1,25(OH)₂D₃ exerts most of its biological effects through the activation of the nuclear VD receptor (VDR) transcription factor, which can lead to the activation of more than 1000 genes [12, 13]. In recent years, scientists have scanned parts of the human genes that mediate the action of VD. These regions, called VDRE (VD response elements), are adjacent to genes activated by the VDR protein complex [14].

Strong evidence from epidemiological data and laboratory and animal studies suggests that VD plays an important physiological role in the normal functioning of the immune system. The evidence to date shows that VD inhibits adaptive immunity but contributes to innate immunity. VD inhibits cell proliferation while stimulating cell differentiation. However, the mechanisms of VD action on the immune system and its therapeutic potential in pathology require further study. Prevention of VD deficiency helps not only to optimize mineral metabolism, but also to reduce the risk of the formation of many chronic diseases [15].

The key to the wide-ranging effects of VD is intracellular 1- α -hydroxylase, which is found in cells throughout the body. The exact role that VD plays in every cell is not yet clear, but researchers are working on possible mechanisms. There are two main effects of VD on immunity: increased immunity against antigens and modulation of the autoimmune response. These actions of VD are achieved through a variety of mechanisms. Below is a basic explanation of the mechanisms as we understand them today [16].

Liu et al. explained the mechanism of increased immunity against antigens [17]. They implemented a series of experiments on human macrophages and showed that 25(OH)D is converted intra-cellularly to 1,25(OH)₂D in response to the interaction of a Toll-like receptor with a bacterial antigen. This interaction activates the expression of 1- α -hydroxylase and cathelicidin genes. This results in increased production of cathelicidin, a bactericidal peptide, but only in the presence of 25(OH)D or 1,25(OH)₂D. Cathelicidin is effective against bacteria and viruses [18] such as herpes simplex [19] and influenza [20]. They also showed a dose-dependent effect of 25(OH)D in human serum. Serum containing higher levels of 25(OH)D (mean: 78 nmol/L) doubled cathelicidin gene expression compared to serum with lower levels of 25(OH)D (mean: 22 nmol/L). This explains the use of circulating 25(OH)D for intracellular production of 1,25(OH)₂D, so the person is not at risk of hypercalcemia due to high systemic levels of 1,25(OH)₂D. When this intracellular mechanism is activated, the enzyme responsible for 1,25(OH)₂D catabolism is also activated, keeping the production and catabolism of 1,25(OH)₂D completely self-sufficient. This mechanism explains the role that VD may play in other types of cells. Other cells are likely activated by a stimulus and, in the presence of adequate 25(OH)D, express genes specific to that cell's function (e.g., T cells and cytokines).

VD prevents inflammation too much by blocking the interaction of immune cells through cytokines. VD immune suppression has opened up new possibilities for the therapeutic use of this substance and its analogs for the control of autoimmune diseases, presumably associated with cytokine overproduction. VD deficiency increases the risk of developing autoimmune diseases. Among such diseases are type 1 diabetes mellitus, multiple sclerosis, systemic lupus erythematosus, rheumatoid arthritis, chronic inflammatory diseases of the gastrointestinal tract. The anti-proliferative and differentiation-stimulating activity of VD suggested a role for this hormone in suppressing neoplastic processes (colon, breast, lung, pancreas, ovarian, prostate cancer) [21]. Considering the aforementioned intracellular 1- α -hydroxylase, the effect of VD on autoimmune disease occurs through several mechanisms, each of which is specific to the cell it targets. VD acts both directly and indirectly on several immune cells, including B and T lymphocytes, dendritic cells, and macrophages. T lymphocytes (T cells) play a central role in autoimmune diseases. When stimulated with such antigens as tumor cells or viruses they produce inflammatory cytokines IFN- γ , IL-2 and TNF- α . There are two types of T-helpers: Th1 and Th2. 1,25(OH)₂D directly suppresses proliferation of Th1 cells and decreases the production of their cytokines [22]. In mouse models, if VD is deficient or VDR is absent, Th1 effects are more pronounced [23, 24]. In vitro treatment with 1,25(OH)₂D suppresses Th1 cell production and promotes Th2 cell development [25]. The overall effect of T cells is to increase self-tolerance [26]. B lymphocytes (B cells) are also affected by VD. Cell cultures show some inhibitory effects of 1,25(OH)₂D and 25(OH)D on B cell responses, including proliferation, cell differentiation, and immunoglobulin secretion, especially IgG and IgM [27].

The effect of VD on innate immunity

The research was distributed roughly 25 years showing that 1,25(OH)₂D unequivocally stifles the multiplication of the irresistible microorganism *Mycobacterium tuberculosis* (M. tuberculosis) in human monocytes [28]. At that point, the physiological meaning of this was muddled. It was realized that patients with tuberculosis (TB) regularly had an overproduction of 1,25(OH)₂D [29]. Be that as it may, this was not at

first connected with the capacity of CYP27B1 monocyte movement to help intracrine killing of *M. tuberculosis*. Rather, helpful organization of 1,25(OH)₂D or engineered non-calcemic analogs 1,25(OH)₂D was relied upon to give the best channel to translational VD usage in patients with tuberculosis. Information from Liu et al. displayed interestingly that the localized synthesis of 1,25(OH)₂D by monocytes is a necessary piece of the normal innate immune function of these cells. Current works uncover in more detail the instruments by which calcitriol improves the antimicrobial impact of macrophages and monocytes, which are significant effector cells in the battle against microbes like *M. tuberculosis*.

Calcitriol builds the chemotaxis and phagocytic capacity of immune cells [11]. It should be noticed that VD likewise actuates qualities encoding endogenous antimicrobial peptides — cathelicidin and defensin-2, which have antimicrobial action against numerous microscopic organisms, viruses and fungi [21]. Monocytes presented to *M. tuberculosis* show a solid acceptance of 1 α -hydroxylase, or CYP27B1, and the VD receptor after acknowledgment of microbes by cost-like receptors, which prompts an adjustment of quality articulation for cathelicidin creation [17]. Notwithstanding cost-like receptor flagging, it was found that different cytokines like interferon- γ or IL-4 additionally influence the statement of CYP27B1 [30]. Human cathelicidin (hCAP18), which is divided from IL-37 (the 37-buildup dynamic cationic peptide) and is expanded in people in light of irresistible specialists. Its fundamental activity is the destabilization of microbial films, regarding which it has a lytic impact on microorganisms, viruses, and parasites [31].

In extreme diseases, the level of enrollment of granulocyte cells, for example, neutrophils is exceptionally high. Early discoveries recommended that neutrophils are the primary wellspring of cathelicidin, yet current proof debates this guarantee because, although neutrophilic granulocytes communicate VDR, they do not seem to have CYP27B1, which keeps them from changing 25(OH)D into a bioactive structure vital over to start articulation of the cathelicidin quality [32].

Research results show that VD status directs antimicrobial protein levels, which might assume a basic part in battling contamination. For instance, in cross-sectional research, the degree of 25(OH)D in ill patients with sepsis was fundamentally lower, and this is related to abatement in the grouping of the antimicrobial protein cathelicidin [33].

It is currently realized that LL-37 is not the main antibacterial objective for VD in monocytes. The other antibacterial protein, β -defensin 2 (DEFB4), contains VDRE in an advertiser locale correspondingly to LL-37 [34]. Late information has shown 1,25(OH)₂D -VDR acceptance of DEFB4 in mix with enactment of another record factor, NF- κ B. Acceptance of NF- κ B after treatment of monocytes with cytokines, for example, IL-1b [35] or as a result of motioning through the acknowledgment receptor of an intracellular microbe, non-large diabetic 2 (NOD2) [36], has been displayed to improve 1,25(OH)₂D-intervened enlistment DEFB4. In addition, VD establishes a climate wherein monocytes kill microorganisms. Monocytes treated with 1,25(OH)₂D show an expanded degree of autophagy [37]. Autophagy and the development of related autophagosomes are significant as a system for the intracellular disconnection of microorganisms and their resulting destruction by antibacterial proteins [38]. VD-intervened enlistment of autophagosomes in monocytes is related to an expanded limit with respect to intracellular obliteration of *M. tuberculosis*, yet is intervened through an expansion in LL37 record [39]. Ensuing investigations have shown that steady with introductory investigations of LL-37 enlistment by intracrine *M. tuberculosis*, TLR2/1-intervened autophagy enlistment seems to include acceptance of 25(OH)D digestion by means of CYP27B1 [40], recommending that this system would likewise be strong relies upon changes in VD status.

In a new randomized controlled preliminary, VD3 supplementation of 100,000 IU month to month in 322 solid grown-ups did not diminish the rate of upper respiratory plot diseases [41], which might be because of the impediments of the exploration work, specifically the incorporation in the investigation of the individuals who had adequate blood VD level at pattern (mean 25(OH)D level 29 ng/ml). As opposed to this review, a randomized controlled preliminary involving invigorated milk in 247 Mongolian kids with extreme VD lack (standard mean 25(OH)D 7 ng/ml) recorded a huge decrease in the frequency of intense respiratory contaminations more than a 3-month follow-up period [42].

Notwithstanding the immediate battle against organisms, monocytes and other antigen-introducing cells (APCs) of natural resistance, specifically dendritic cells (DC), are significant focuses of the immunomodulatory activity of VD. APCs are answerable for starting a versatile insusceptible reaction by introducing antigens to T-and B-lymphocytes. They are additionally ready to adjust the resistant reaction by sending either an immunogenic or a tolerogenic signal utilizing cytokines and the statement of costimulatory atoms [43]. The consequences of different investigations have shown that calcitriol and its analogs can change the capacity and morphology of DCs to instigate their more tolerogenic, youthful state [44]. Youthful

DCs are portrayed by a lessening in the level of class II significant histocompatibility molecule binding and the outflow of co-stimulating atoms (CD40, CD80, CD86), which prompts a decline in antigen show, a reduction in IL-12 emission and an increment in the development of tolerogenic IL-10. Calcitriol represses T-cell cytokines, for example, IL-2 and IL-17, as well as costimulatory receptors on monocytes [11]. The utilization of high dosages of calcitriol in sound individuals — 1 µg two times per day for seven days, prompts a huge diminishing in the degree of proinflammatory cytokines IL-6, orchestrated by fringe mononuclear cells. All things considered, the blend of this large number of impacts causes the acceptance of potential administrative T cells, which are significant for the control of the resistant reaction and the improvement of auto-reactivity [45].

Dynamic and local VD, calcitriol, and cholecalciferol are equipped for instigating tolerogenic properties in DCs since these cells likewise express the CYP27B1 catalyst. Articulation of this compound permits them to accomplish a high neighborhood convergence of dynamic types of VD, which are important for immunomodulatory activity. The aftereffects of *in vitro* examinations are additionally upheld by the consequences of studies on strains of mice taken out by the VDR and CYP27B1 qualities, showing a huge expansion in the quantity of mature DCs and impeded chemotaxis in them [11]. A new clinical review where 95 patients got high dosages of VD or fake treatment notwithstanding standard TB treatment showed a sped-up goal of fiery responses [46].

The effect of VD on adaptive immunity

VD has an improving impact on the working of vague protection instruments and versatile resistance. It is realized that, no matter what its inborn resistant action, VD can likewise go about as a strong controller of the versatile invulnerable framework [47]. One of the principal perceptions connecting VD to the versatile safe framework was that T cells and B lymphocytes (B cells) express VDR [48], with these levels expanding as T or B cells multiply. As a result, introductory investigations of the impacts of VD on T cells zeroed in on the capacity of 1,25(OH)₂D to stifle T cell multiplication [49]. Nonetheless, resulting studies have demonstrated that VD may likewise influence the aggregate of T cells, specifically by repressing Th1 cells, a subset of CD4⁺ effector T cells firmly connected with cell invulnerable reactions [50]. Alongside this, 1,25(OH)₂D has likewise been displayed to potentiate Th2 cell-related cytokines, a subset of CD4⁺ T cells related to humoral insusceptibility [51].

Also, ongoing works have affirmed the immediate impact of calcitriol on B-cell hematopoiesis, including hindrance of their separation into memory cells and plasma cells, as well as advancing apoptosis of immunoglobulin-delivering B-cells [11, 27]. Such control of B-cell initiation and expansion might be clinically significant in immune system illnesses since B cells that produce auto-reactive antibodies assume a significant part in the pathophysiology of autoimmunity.

Versatile insusceptible T cells are additionally perceived as a significant objective for the immunomodulatory activity of different types of VD. A new audit [52] proposed four expected instruments by which VD might influence T cell work: foundationally coursing calcitriol;

- direct, intracrine transformation of 25(OH)D to calcitriol in T cells;
- direct, paracrine impact of calcitriol on T-cells because of the change of 25(OH)D to calcitriol in monocytes or DCs;
- roundabout impact on antigen show to T-cells through nearby APCs animated by calcitriol.

Openness to VD prompts a change from a favorable to fiery to a more open-minded insusceptible status. Calcitriol represses multiplication and separation of Th and regulates their creation of cytokines [53]. Specifically, treatment of T cells with calcitriol or its analogs represses the discharge of pro-inflammatory cytokines Th1 (IL-2, IFN-γ, cancer rot factor α), Th9 (IL-9) and Th22 (IL-22) [11] and along with consequently advances the emission of mitigating Th2 cytokines (IL-3, IL-4, IL-5, IL-10) [51]. IL-17, which produces Th17 cells, is likewise impacted by VD. Hindrance of Th17 movement assumes a significant part in the treatment of immune system sicknesses, as has been displayed in a strain of mice with diabetes, however not stoutness (nOD, non-obese diabetic mice) [54]. As of late, it was found that calcitriol straightforwardly hinders the development of IL-17 at the degree of record of this cytokine; enacted human T cells presented to calcitriol emit essentially lower levels of IL-17, IFNγ and IL-21 [55].

VD and autoimmune diseases

World literature information demonstrates that the issue of VD lack is acquiring pandemic extents and matches with an expansion in the pervasiveness of immune system illnesses. Regardless of whether this reality demonstrates a causal connection between occasions involves broad discussion. A few immune system infections (various sclerosis, type 1 diabetes mellitus, fiery gut sickness, rheumatoid joint

inflammation) are occasionally and geologically reliant. Their commonness is higher in northern scopes and is contrarily relative to UV light, which may by implication show the investment of VD in the indication of these sicknesses [56, 57]. Consistently, a number of distributions given to the arrangement of VD in patients with immune system sicknesses, the impact of prophylactic admission of VD on the danger of pathology and remedial dosages of nutrients — on its course is developing. Right now, the relationship of VD lack with the advancement of immune system sicknesses, for example, type 1 diabetes mellitus, various sclerosis, rheumatoid joint pain, fundamental lupus erythematosus, foundational scleroderma, and incendiary gut illnesses are being examined [58].

Various examinations done in creature models have shown a conspicuous reduction in safe movement when VD or its metabolites are managed in mice with immune system illnesses [59]. Studies on patients with immune system issues have not found correspondingly precise sustained results. Specifically, in the survey articles by Kriegel et al. and Antico et al. committed to the examination of the degree of serum VD and its metabolites in various illnesses of immune system beginning, they got results are exceptionally heterogeneous, and on their premise, it is difficult to reach unambiguous inferences about the relationship of the centralization of VD in the blood serum with the event of immune system pathology [60, 61].

Hence, the clearest connection was viewed between VD lack and the advancement of type I diabetes mellitus and different sclerosis. In the main case, the degree of VD was lower in patients with an ineffectively controlled course of the sickness, ketoacidosis, arising nephropathy, and tubulointerstitial harm. In various scleroses, diminished levels of the VD metabolite have been related to moderate infection, expanded danger of repeat and inability. The connection between a reduction in VD levels and the improvement of sicknesses, for example, foundational lupus erythematosus, scleroderma, and Crohn's illness have been shown less convincingly. In rheumatoid joint pain, in the greater part of the investigations remembered for the evaluated audits, serum VD levels were not measurably altogether unique between the debilitated and sound gatherings. Simultaneously, a few creators show a constructive outcome of the presentation of a functioning metabolite of VD (alfa caldidiol) in the course of rheumatoid joint pain [62]. Patel et al. observed a solid reverse connection between gauge serum 25(OH)D levels in patients with recently analyzed rheumatoid joint pain (45% had a sickness history of under a year) and pattern illness movement (on the DAS28 infection action scale and wellbeing status poll) [24]. The expansion in 25(OH)D level for each 10 ng/ml was portrayed by an abatement in DAS28 by 0.3 and in the degree of C-responsive peptide by around 25%. Nonetheless, the plasma convergence of 25(OH)D did not associate with the presence of auto antibodies in rheumatoid joint pain.

The works committed to the investigation of the danger of creating immune system infections with prophylactic VD admission in adolescence are intriguing. Accordingly, Antico et al. leading a meta-examination, showed that the danger of type 1 diabetes mellitus is essentially lower in kids who involved VD in adolescence contrasted and youngsters who did not get it (all-out chances proportion 0.71, 95% certainty stretch 0.60–0.84 [61]. Likewise, the review showed the impact of the circumstance of VD supplementation on the occurrence of type 1 diabetes mellitus. Thus, the age time frame from 7 to a year is thought of as particularly good for the counteraction of the illness, since it is then that the development of obtained insusceptibility responses happens. It may be expected that other immune system infections are portrayed by a comparable reliance. This end could track down incredible reasonable application, particularly in pediatric practice. The found portion reliance on the impact of VD is additionally significant. Current proposals recommend an OK limit worth of 25(OH)D₃ in blood serum of something like 20 ng/ml. Simultaneously, an abatement in the level of the VD metabolite under 30 ng/ml animates the creation of parathyroid chemical by the parathyroid organs, which shows the inadequacy of the laid out “typical” level of VD [63, 64]. Furthermore, a new report showed that the support of the limit worth of serum 25(OH) D₃ degree of somewhere around 30 ng/ml is expected for the execution of the immune-regulatory work, which is accomplished while utilizing an everyday portion of VD of around 2000 IU [65]. The introduced information brings up the issue of the need to reconsider the Russian standards with respect to the suggested every day admission of VD. The importance of this issue is connected with the worldwide commonness of VD inadequacy, remembering for our country. As indicated by A. Hossein-Nezhad and M. Holick from 43 to 63 % of the populace in Russia has a serum 25(OH)D degree of under 20 ng/ml, which shows a lack of huge VD among Russians [58]. Additionally, a new multicenter study “Rodnichok” directed in Russia showed that VD levels ≥ 30 ng/ml happen in just 60% of kids matured 6 a year, under 30% of kids matured 2 years of life and just in 13% of offspring of the third year of life [66, 67]. Low serum 25(OH)D levels were additionally connected with more unfortunate visualization in patients with hematological malignancies, including

leukemia and lymphoma [68, 69]. Studies given in Central Kazakhstan show that plasma 25(OH)D degrees of yet untreated grown-up patients with various sorts of leukemia had a lack of VD (10.8 ± 7.0 ng/mL) contrasted with a fringe adequate VD status (21.6 ± 7.8 ng/mL) in paired solid volunteers ($p < 0.0001$) [70].

Subsequently, the elements of VD are different and diverse, and that implies that its inadequacy will influence the condition of numerous organs and frameworks of the body, including the insusceptible framework. In such manner, it is important to draw the consideration of scientists to the issue of standards concerning the suggested every day admission of VD for different geographic locales, particularly in the gathering of kids with a high danger of creating immune system sicknesses. Prophylactic admission of VD in portions satisfactory for the immune-regulatory capacity might add to a diminishing in the predominance of immune system infections or be an essential for a less articulated seriousness of the neurotic cycle.

References

- 1 Holick M.F. Evaluation, treatment, and prevention of VD deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline / M.F. Holick, N.C. Binkley, H.A. Bischoff-Ferrari // *J Clin Endocrinol Metab.* — 2011. — No. 96(7). — P. 1911–1930.
- 2 Hossein A. VD for Health: A Global Perspective / A. Hossein, M.F. Holick // *Mayo clinic proceedings.* — 2013. — No. 88(7). — P. 720–755.
- 3 Pludowski P. VD effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality—a review of recent evidence / P. Pludowski, M.F. Holick, S. Pilz, C.L. Wagner, B.W. Hollis, W.B. Grant // *Autoimmun Rev.* — 2013. — No. 12 (10). — P. 976–989.
- 4 Lips P. Relative value of 25(OH)D and 1,25(OH)2D measurements / P. Lips // *J. Bone Miner. Res.* — 2007. — No. 22. — P. 1668–1671.
- 5 Natasja M. Worldwide VD status / M. Natasja, P. Lips // *Best Pract Res. Clin. Endocrinol. Metab.* — 2011. — No. 25. — P. 671–680.
- 6 Holick M.F. Guidelines for preventing and treating VD deficiency and insucieny revisited / M.F. Holick, N.C. Binkley, H.A. Bischo-Ferrari, C.M. Gordon, D.A. Hanley, R.P. Heaney, M.H. Murad, C.M. Weaver // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* — 2012. — No. 97. — P. 1153–1158.
- 7 Haq A. VD deficiency: A single centre analysis of patients from 136 countries / A. Haq, J. Svobodova, S. Imran, C. Stanford, M.S. Razzaque // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* — 2016. — No. 164. — P. 209–213.
- 8 Pleshcheva A.C. VD and metabolism: facts, myths and prejudices / A.C. Pleshcheva, E.A. Pigarova, L.K. Dzeranova // *Ozhireniye i metabolismm.* — 2012. — No. 2. — P. 33–42.
- 9 Mondul A.M. VD and Cancer Risk and Mortality: State of the Science, Gaps, and Challenges / A.M. Mondul, S.J. Weinstein, T.M. Layne, D. Albanes // *Epidemiol. Rev.* — 2017. — No. 39. — P. 28–48.
- 10 Prosser D.E. Enzymes involved in the activation and in activation of VD / D.E. Prosser, G. Jones // *Trends Biochem. Sci.* — 2004. — No. 29 (12). — P. 664–673.
- 11 Backe F. VD: Modulator of the immune system / F. Backe, T. Takiishi, H. Korf, C. Gysemans, C. Mathieu // *Curr. Opin. Pharmacol.* — 2010. — No. 10. — P. 482–496.
- 12 Carlberg C. VD receptor signaling and its therapeutic implications: Genome-wide and structural view / C. Carlberg, F. Molnar // *Can. J. Physiol. Pharmacol.* — 2015. — No. 93. — P. 311–318.
- 13 Pike J.W. The VD receptor: Contemporary genomic approaches reveal new basic and translational insights / J.W. Pike, M.B. Meyer, S.M. Lee, M. Onal, N.A. Benkusky // *J. Clin. Invest.* — 2017. — No. 127. — P. 1146–1154.
- 14 Janner M. High prevalence of VD deficiency in children and adolescents with type 1 diabetes / M. Janner, P. Ballinari, P.E. Mullis, Ch.E. Fluck // *Swiss Med. Wkly.* — 2010. — Vol. 140. — P. 1309.
- 15 Мальцев С.В. Витамин D и иммунитет / С.В. Мальцев, Н.В. Рылова // *Практическая медицина.* — 2015. — № 1 (86). — С. 114–120.
- 16 Armas L.A.G. VD, infections and immune-mediated diseases / L.A.G. Armas // *Int. J. Clin. Rheumatol.* — 2009. — No. 4(1). — P. 89–103.
- 17 Liu P.T. Toll-like receptor triggering of a VD-mediated human antimicrobial response / P.T. Liu, S. Stenger, H. Li // *Science.* — 2006. — No. 311. — P. 1770–1773.
- 18 Herr C. The role of 15 cathelicidin and defensins in pulmonary inflammatory diseases / C. Herr, R. Shaykhiev, R. Bals // *Expert Opin. Biol. Ther.* — 2007. — No. 7. — P. 1449–1461.
- 19 Howell M.D. Cathelicidin deficiency predisposes to eczema herpeticum / M.D. Howell, A. Wollenberg, R.L. Gallo // *J. Allergy Clin. Immunol.* — 2006. — No. 117. — P. 836–841.
- 20 Laube D.M. Antimicrobial peptides in the airway / D.M. Laube, S. Yim, L.K. Ryan, K.O. Kisich, G. Diamond // *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* — 2006. — No. 306. — P. 153–182.
- 21 Bikle D. VD and Immune Function: Understanding Common Pathways / D. Bikle // *Curr. Osteoporos. Rep.* — 2009. — Vol. 7. — P. 58–63.

- 22 Cantorna M.T. The targets of VD depend on the differentiation and activation status of CD4-positive T cells / M.T. Cantorna // *J. Cell. Biochem.* — 2003. — No. 89. — P. 922–932.
- 23 Cantorna M.T. VD status, 1,25-dihydroxyVD₃, and the immune system / M.T. Cantorna, Y. Zhu, M. Froicu, A. Wittke // *J. Clin. Nutr.* — 2004. — No. 80. — P. 1717–1720.
- 24 Patel S. Association between serum VD metabolite levels and disease activity in patients with early inflammatory polyarthritis / S. Patel, T. Farragher, J. Berry, D. Bunn, A. Silman, D. Symmons // *Arthritis Rheum.* — 2007. — No. 56. — P. 2143–2149.
- 25 Nashold F.E. Rag-1-dependent cells are necessary for 1,25-dihydroxyVD₃ prevention of experimental autoimmune encephalomyelitis / F.E. Nashold // *J. Neuroimmunol.* — 2001. — No. 119. — P. 16–29.
- 26 Mathieu C. VD and Type 1 diabetes mellitus: state of the art / C. Mathieu, K. Badenhoop // *Trends Endocrinol. Metab.* — 2005. — No. 16. — P. 261–266.
- 27 Chen S. Modulatory effects of 1,25-dihydroxyVD₃ on human B cell differentiation / S. Chen, G.P. Sims, X.X. Chen, Y.Y. Gu, S. Chen, P.E. Lipsky // *J. Immunol.* — 2007. — No. 179. — P. 1634–1647.
- 28 Rook G.A. VD₃, gamma interferon, and control of proliferation of *Mycobacterium tuberculosis* by human monocytes / G.A. Rook, J. Steele, L. Fraher // *Immunology.* — 1986. — No. 57. — P. 159–163.
- 29 Epstein S. Evidence for abnormal regulation of circulating 1,25-dihydroxyVD₃ in patients with pulmonary tuberculosis and normal calcium metabolism / S. Epstein, P.H. Stern, N.H. Bell // *Calcif Tissue Int.* — 1984. — No. 36. — P. 541–544.
- 30 Edfeldt K. T-cell cytokines differentially control human monocyte antimicrobial responses by regulating VD metabolism / K. Edfeldt, P.T. Liu, R. Chun, M. Fabri, M. Schenk, M. Wheelwright, C. Keegan, S.R. Krutzik, J.S. Adams, M. Hewison // *Proc. Natl. Acad. Sci.* — 2010. — No. 107. — P. 22593–22598.
- 31 Ramanathan B. Cathelicidins: Microbicidal activity, mechanisms of action, and roles in innate immunity / B. Ramanathan, E.G. Davis, C.R. Ross, F. Blecha // *Microbes Infect.* — 2002. — No. 4. — P. 361–372.
- 32 Sørensen O. An ELISA for hCAP-18, the cathelicidin present in human neutrophils and plasma / O. Sørensen, J.B. Cowland, J. Askaa, N. Borregaard // *J. Immunol. Methods.* — 1997. — No. 206. — P. 53–59.
- 33 Jeng L. Alterations in VD status and anti-microbial peptide levels in patients in the intensive care unit with sepsis / L. Jeng, A.V. Yamshchikov, S.E. Judd, H.M. Blumberg, G.S. Martin, T.R. Ziegler, V. Tangpricha // *J. Transl. Med.* — 2009. — No. 7. — P. 28.
- 34 Wang T.T. Cutting edge: 1,25-DihydroxyvitaminD₃ is a direct inducer of antimicrobial peptide gene expression / T.T. Wang, F.P. Nestel, V. Bourdeau // *J. Immunol.* — 2004. — No. 173. — P. 2909–2912.
- 35 Liu P.T. Convergence of IL-1b and VDR activation pathways in human TLR2/1-induced antimicrobial responses / P.T. Liu, M. Schenk, V.P. Walker // *PLoS ONE.* — 2009. — No. 4. — P. 5810.
- 36 Wang T.T. Direct and indirect induction by 1,25-dihydroxyVD₃ of the NOD2/CARD15-defensin b2 innate immune pathway defective in Crohn disease / T.T. Wang, B. Dabbas, D. Laperriere // *J. Biol. Chem.* — 2010. — No. 285. — P. 2227–2231.
- 37 Klionsky D.J. Autophagy as a regulated pathway of cellular degradation / D.J. Klionsky, S.D. Emr // *Science.* — 2000. — No. 290. — P. 1717–1721.
- 38 Levine B. Unveiling the roles of autophagy in innate and adaptive immunity / B. Levine, V. Deretic // *Nat Rev Immunol.* — 2007. — No. 7. — P. 767–777.
- 39 Yuk J.M. VD₃ induces autophagy in human monocytes/macrophages via cathelicidin / J.M. Yuk, D.M. Shin, H.M. Lee // *Cell Host Microbe.* — 2009. — No. 6. — P. 231–243.
- 40 Shin D.M. Mycobacterial lipoprotein activates autophagy via TLR2/1/CD14 and a functional VD receptor signalling / D.M. Shin, J.M. Yuk, H.M. Lee // *Cell Microbiol.* — 2010. — No. 12. — P. 1648–1665.
- 41 Murdoch D.R. Effect of VD₃ supplementation on upper respiratory tract infections in healthy adults. The VIDARIS randomized controlled trial / D.R. Murdoch, S. Slow, S.T. Chambers, L.C. Jennings, A.W. Stewart, P.C. Priest, C. Mn. Florkowski, J.H. Livesey, C.A. Camargo, R. Seragg // *J. A. M. A.* — 2012. — No. 308. — P. 1333–1339.
- 42 Camargo C.A. Randomized trial of VD supplementation and risk of acute respiratory infection in Mongolia / C.A. Camargo, D. Ganmaa, A.L. Frazier, F.F. Kirchberg, J.J. Stuart, K. Kleinman, N. Sumberzul, J.W. Rich-Edwards // *Pediatrics.* — 2012. — No. 130. — P. 561–567.
- 43 Ferreira G.B. 1 α ,25DihydroxyVD₃ and its analogs as modulators of human dendritic cells: a comparison dose-titration study / G.B. Ferreira, L. Overbergh, A. Verstuyf, C. Mathieu // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* — 2013. — No. 136. — P. 160–165.
- 44 Penna G. 1,25-DihydroxyVD₃ selectively modulates tolerogenic properties in myeloid but not plasmacytoid dendritic cells / G. Penna, S. Amuchastegui, N. Giarratana, K.C. Daniel, M. Vulcano, S. Sozzani, L. Adorini // *J. Immunol.* — 2007. — No. 178. — P. 145–153.
- 45 Prietl B. VD and immune function / B. Prietl, G. Theiber, T.R. Pieber, K. Amrein // *Nutrients.* — 2013. — No. 5(7). — P. 2502–2521.
- 46 Coussens A.K. VD accelerates resolution of inflammatory responses during tuberculosis treatment / A.K. Coussens, R.J. Wilkinson, Y. Hanifa, V. Nikolayevskyy, P.T. Elkington, K. Islam, P.M. Timms, T.R. Venton, G.H. Bothamley, G.E. Packe // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* — 2012. — No. 109. — P. 15449–15454.
- 47 Peelen E. Effects of VD on the peripheral adaptive immune system: a review / E. Peelen, S. Knippenberg, A.H. Muris // *Autoimmun Rev.* — 2011. — No. 10(12). — P. 733–743.

- 48 Provvedini D.M. 1,25-dihydroxyVD3 receptors in human leukocytes / D.M. Provvedini, C.D. Tsoukas, L.J. Deftos // *Science*. — 1983. — No. 221. — P. 1181–1183.
- 49 Karmali R. 1,25(OH)₂D₃ regulates c-myc mRNA levels in tonsillar T lymphocytes / R. Karmali, M. Hewison, N. Rayment // *Immunology*. — 1991. — No. 74. — P. 589–593.
- 50 Lemire J.M. Immunosuppressive actions of 1,25-dihydroxyVD₃: Preferential inhibition of Th1 functions / J.M. Lemire, D.C. Archer, L. Beck // *J Nutr*. — 1995. — No. 125. — P. 1704–1708.
- 51 Boonstra A. 1 α ,25-dihydroxyVD₃ has a direct effect on naive CD4⁺T cell to enhance the development of Th2 cells / A. Boonstra, F.J. Barrat, C. Crain, V.L. Heath, H. F.J. Savelkoul, A.O. Garra // *J. Immunol*. — 2001. — No. 167. — P. 4974–4980.
- 52 Hewison M. An update on VD and human immunity / M. Hewison // *Clin. Endocrinol*. — 2012. — No. 76. — P. 315–325.
- 53 Enioutina E.Y. TLR-induced local metabolism of VD₃ plays an important role in the diversification of adaptive immune responses / E.Y. Enioutina, D. Bareyan, A. Raymond // *J. Immunol*. — 2009. — No. 182. — P. 4296–4305.
- 54 Penna G. Treatment of experimental autoimmune prostatitis in nonobese diabetic mice by the VD receptor agonist elocalcitol / G. Penna, S. Amuchastegui, C. Cossetti, F. Aquilano, R. Mariani, F. Sanvito, C. Doglioni, L. Adorini // *J. Immunol*. — 2006. — No. 177. — P. 8504–8511.
- 55 Joshi S. 1,25-DihydroxyVD₃ ameliorates Th17 autoimmunity via transcriptional modulation of interleukin-17A / S. Joshi, L. Pantalena, X.K. Liu, L. Sarah, H. Liu, C. Rohowsky Kochan, A. Yoshimura, L. Steinman, S.L. Gaffen, K. Ichiyama // *Mol. Cell. Biol*. — 2011. — No. 31. — P. 3653–3669.
- 56 Handel A.E. Genetic and environmental factors and the distribution of multiple sclerosis in Europe / A.E. Handel, L. Handunnethi, G. Giovannoni, G.C. Ebers, S.V. Ramagopalan // *Eur J Neurol*. — 2010. — No. 17(9). — P. 1210–1214.
- 57 Vieira V.M. Association between residences in U.S. northern latitudes and rheumatoid arthritis: a spatial analysis of the Nurses' Health Study / V.M. Vieira, J.E. Hart, T.F. Webster, J. Weinberg, R. Puett, F. Laden // *Environ Health Perspect*. — 2010. — No. 118(7). — P. 957–961.
- 58 Hossein-Nezhad A. VD for Health: A Global Perspective / A. Hossein-Nezhad, M.F. Holick // *Mayo Clinic Proc*. — 2013. — No. 88(7). — P. 720755.
- 59 Gysemans C.A. 1,25-Dihydroxy VD₃ modulates expression of chemokines and cytokines in pancreatic islets: implications for prevention of diabetes in nonobese diabetic mice / C.A. Gysemans, A.K. Cardozo, H. Callewaert, A. Giuletta, L. Hulshagen, R. Bouillon // *Endocrinol*. — 2005. — No. 146. — P. 1956–1964.
- 60 Kriegel M.A. Does VD Affect Risk of Developing Autoimmune Disease?: A Systematic Review / M.A. Kriegel, J.E. Manson, K.H. Costenbader // *Semin Arthritis Rheum*. — 2011. — No. 40(6). — P. 512–531.
- 61 Antico A. Can supplementation with VD reduce the risk or modify the course of autoimmune diseases? A systematic review of the literature / A. Antico, M. Tampoia, R. Tozzoli, N. Bizzaro // *Autoimmun Rev*. — 2012. — No. 12(2). — P. 127–136.
- 62 Andjelkovic Z. Disease modifying and immunomodulatory effects of high dose 1 alpha (OH) D₃ in rheumatoid arthritis patients / Z. Andjelkovic, J. Vojnovic, N. Pejnovic, M. Popovic, A. Dujic, D. Mitrovic // *Clin Exp Rheumatol*. — 1999. — No. 17(4). — P. 453–456.
- 63 Hollis B.W. Circulating 25-hydroxyVD levels indicative of VD sufficiency: implications for establishing a new effective dietary intake recommendation for VD / B.W. Hollis // *J Nutr* 2005. — No. 135(2). — P. 317–322.
- 64 Drinka P.J. Determinants of VD levels in nursing home residents / P.J. Drinka, P.F. Krause, L.J. Nest, B.M. Goodman // *J Am Med Dir Assoc*. — 2007. — No. 8(2). — P. 76–79.
- 65 Ross A.C. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and VD from the Institute of Medicine: what clinicians need to know / A.C. Ross, J.E. Manson, S.A. Abrams, J.E. Aloia, P.M. Brannon, S.K. Clinton // *J Clin Endocrinol Metab*. — 2011. — No. 96(1). — P. 53–58.
- 66 Захарова И.Н. Недостаточность витамина D у детей раннего возраста в России: результаты многоцентрового когортного исследования РОДНИЧОК (2013–2014 гг.) / И.Н. Захарова, С.В. Мальцев, Т.Э. Боровик, Г.В. Яцык, С.И. Малявская, И.В. Вахлова // *Вопросы современной педиатрии*. — 2014. — № 6 (13). — С. 30–34.
- 67 Захарова И.Н. Обеспеченность витамином D детей грудного возраста: зависимость от вида вскармливания и дозы препаратов холекальциферола / И.Н. Захарова, Л.Я. Климов, В.А. Курьянинова, С.В. Долбня, И.Д. Майкова, А.Н. Касьянова, Г.С. Анисимов, Д.В. Бобрышев, Е.А. Евсеева // *Рос. вестн. перинатол. и педиатр*. — 2016. — № 61 (6). — С. 68–76.
- 68 Wang W. Serum 25-hydroxyVD levels and prognosis in hematological malignancies: A systematic review and meta-analysis / W. Wang, G. Li, X. He, J. Gao, R. Wang, Y. Wang, W. Zhao // *Cell. Physiol. Biochem*. — 2015. — No. 35. — P. 1999–2005.
- 69 Kulling P.M. VD in hematological disorders and malignancies / P.M. Kulling, K.C. Olson, T.L. Olson, D.J. Feith, T.P. Loughran // *Eur. J. Haematol*. — 2017. — No. 98. — P. 187–197.
- 70 Zhumina A.G. Plasma 25-hydroxyVD levels and VDR gene expression in peripheral blood mononuclear cells of leukemia patients and healthy subjects in Central Kazakhstan / A.G. Zhumina, K. Li, A.A. Konovalova, Ye.A. Li, M.Yu. Ishmuratova, G.P. Pogossyan, M. Danilenko // *Nutrients*. — 2020. — Vol. 12.

А. Арыстанбай, А.Г. Жумина, В.О. Клуная

Д дәрумені және оның адамның иммундық жүйесіне әсері

Мақалада адамның иммундық жүйесіне D дәрумені деңгейінің әсері туралы заманауи отандық және шетелдік зерттеулер ұсынылған. Иммундық жауаптарды реттеуге D витаминінің қатысуы туралы көптеген деректер келтірілген. Соңғы жылдары аутоиммунды аурулары бар науқастардың денесінде D дәруменінің жетіспеушілігі мәселесіне көбірек көңіл бөлінуде. Иммундық реттеудегі D дәруменінің маңыздылығын растау витаминнің төмен деңгейі мен әртүрлі инфекцияларға сезімталдықтың жоғарылауы, сондай-ақ вирустық, бактериялық және саңырауқұлақ этиологиясының инфекциялық процесінің белсенділігі арасындағы байланысты көрсететін көптеген эксперименттік зерттеулердің, клиникалық және эпидемиологиялық бақылаулардың нәтижелері болып табылады. D дәрумені В және Т лимфоциттері, дендритті жасушалар және макрофагтар сияқты иммундық жасушаларға тікелей және жанама әсер етеді. Сонымен қатар D дәруменінің әсерінен иммундық жауапты белсендірудің молекулалық механизмдеріне ерекше назар аударылған. D дәрумені өз әсерін D дәруменінің рецепторымен (VDR) байланыстыру арқылы көрсетеді, ол өз кезегінде басқа ақуыздармен бірге организмнің иммундық реакциясына қатысатын ақуыздардың гендерінің транскрипциясын белсендіреді. Осыған байланысты, әсіресе пандемия жағдайында D дәруменінің күнделікті тұтыну нормалары мәселесіне зерттеушілердің назарын аудару қажет.

Кілт сөздер: D витамині, кальцитриол, D витаминінің рецепторы (VDR), туа біткен иммунитет, адаптивті иммунитет, аутоиммунды аурулар.

А. Арыстанбай, А.Г. Жумина, В.О. Клуная

Витамин D и его влияние на иммунную систему человека

В настоящем литературном обзоре представлены современные отечественные и зарубежные исследования, посвященные влиянию уровня витамина D на иммунную систему человека. Приведены многочисленные данные об участии витамина D в регуляции иммунных реакций. В последние годы все больше внимания уделяется проблеме дефицита витамина D в организме пациентов с аутоиммунными заболеваниями. Подтверждением значимости витамина D в иммунной регуляции являются результаты многочисленных экспериментальных исследований, клинических и эпидемиологических наблюдений, которые демонстрируют связь между низкими уровнями витамина и повышенной восприимчивостью к различным инфекциям, а также активностью инфекционного процесса вирусной, бактериальной и грибковой этиологии. Витамин D действует как прямо, так и косвенно на иммунные клетки, такие как В- и Т-лимфоциты, дендритные клетки и макрофаги. В обзоре особое внимание уделено молекулярным механизмам активации иммунного ответа под влиянием витамина D. Витамин D оказывает свой эффект посредством соединения с рецептором витамина D (VDR), который, в свою очередь, совместно с другими белками активирует транскрипцию генов белков, участвующих в иммунном ответе организма. В связи с этим необходимо привлечь внимание исследователей к проблеме норм суточного потребления витамина D, особенно в условиях пандемии.

Ключевые слова: витамин D, кальцитриол, рецептор витамина D (VDR), врожденный иммунитет, адаптивный иммунитет, аутоиммунные заболевания.

References

- 1 Holick, M.F., Binkley, N.C., & Bischoff-Ferrari, H.A. (2011). Evaluation, treatment, and prevention of VD deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*, 96(7); 1911–1930.
- 2 Hossein, A., & Holick, M.F. (2013). VD for Health: A Global Perspective. *Mayo clinic proceedings*, 88(7); 720–755.
- 3 Pludowski, P., Holick, M.F., Pilz, S., Wagner, C.L., Hollis, B.W., & Grant, W.B. (2013). VD effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality—a review of recent evidence. *Autoimmun Rev*, 12(10); 976–989.
- 4 Lips, P. (2007). Relative value of 25(OH)D and 1,25(OH)2D measurements. *J. Bone Miner. Res*, 22; 1668–1671.
- 5 Natasja M., & Lips, P. (2011). Worldwide VD status. *Best Pract Res. Clin. Endocrinol. Metab*, 25; 671–680.
- 6 Holick, M.F., Binkley, N.C., Bischo-Ferrari, H.A., Gordon, C.M., Hanley, D.A., Heaney, R.P., Murad, M.H., & Weaver, C.M. (2012). Guidelines for preventing and treating VD deficiency and insufficiency revisited. *J. Clin. Endocrinol. Metab*, 97; 1153–1158.
- 7 Нақ, А., Svobodova, J., Imran, S., Stanford, C., & Razzaque, M.S. (2016). VD deficiency: A single centre analysis of patients from 136 countries. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 164; 209–213.

- 8 Pleshcheva, A.C., Pigarova, E.A., & Dzeranova, L.K. (2012). VD and metabolism: facts, myths and prejudices. *Ozhireniye i metabolizm*, 2; 33–42.
- 9 Mondul, A.M., Weinstein, S.J., Layne, T.M., & Albanes, D. (2017). VD and Cancer Risk and Mortality: State of the Science, Gaps, and Challenges. *Epidemiol. Rev.*, 39; 28–48.
- 10 Prosser, D.E., & Jones, G. (2004). Enzymes involved in the activation and in activation of VD. *Trends Biochem. Sci.*, 29(12); 664–673.
- 11 Backe, F., Takiishi, T., Korf, H., Gysemans, C., & Mathieu, C. (2010). VD: Modulator of the immune system. *Curr. Opin. Pharmacol.*, 10; 482–496.
- 12 Carlberg, C., & Molnar, F. (2015). VD receptor signaling and its therapeutic implications: Genome-wide and structural view. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 93; 311–318.
- 13 Pike, J.W., Meyer, M.B., Lee, S.M., Onal, M., & Benkusky, N.A. (2017). The VD receptor: Contemporary genomic approaches reveal new basic and translational insights. *J. Clin. Invest.*, 127; 1146–1154.
- 14 Janner, M., Ballinari, P., Mullis, P.E., & Fluck, Ch.E. (2010). High prevalence of VD deficiency in children and adolescents with type 1 diabetes. *Swiss Med. Wkly.*, 140; 1309.
- 15 Malcev, S.V., & Rylova, N.V. (2015). VD i immunitet [VD and immunity]. *Prakticheskaja meditsina — Practical medicine*, 1 (86); 114–120 [in Russian].
- 16 Armas, L.A.G. (2009). VD, infections and immune-mediated diseases. *Int. J. Clin. Rheumatol.*, 4(1); 89–103.
- 17 Liu, P.T., Stenger, S., & Li, H. (2006). Toll-like receptor triggering of a VD-mediated human antimicrobial response. *Science*, 311; 1770–1773.
- 18 Herr, C., Shaykhiev, R., & Bals, R. (2007). The role of 15 cathelicidin and defensins in pulmonary inflammatory diseases. *Expert Opin. Biol. Ther.*, 7; 1449–1461.
- 19 Howell, M.D., Wollenberg, A., & Gallo, R.L. (2006). Cathelicidin deficiency predisposes to eczema herpeticum. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 117; 836–841.
- 20 Laube, D.M., Yim, S., Ryan, L.K., Kisich, K.O., & Diamond, G. (2006). Antimicrobial peptides in the airway. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, 306; 153–182.
- 21 Bikle, D. (2009). VD and Immune Function: Understanding Common Pathways. *Curr. Osteoporos. Rep.*, 7; 58–63.
- 22 Cantorna, M.T. (2003). The targets of VD depend on the differentiation and activation status of CD4-positive T cells. *J. Cell. Biochem.*, 89; 922–932.
- 23 Cantorna, M.T., Zhu, Y., Froicu, M., & Wittke, A. (2004). VD status, 1,25-dihydroxyVD₃, and the immune system. *J. Clin. Nutr.*, 80; 1717–1720.
- 24 Patel, S., Farragher, T., Berry, J., Bunn, D., Silman, A., & Symmons, D. (2007). Association between serum VD metabolite levels and disease activity in patients with early inflammatory polyarthritis. *Arthritis Rheum.*, 56; 2143–2149.
- 25 Nashold, F.E. (2001). Rag-1-dependent cells are necessary for 1,25-dihydroxyVD₃ prevention of experimental autoimmune encephalomyelitis. *J. Neuroimmunol.*, 119; 16–29.
- 26 Mathieu, C., & Badenhoop, K. (2005). VD and Type 1 diabetes mellitus: state of the art. *Trends Endocrinol. Metab.*, 16; 261–266.
- 27 Chen, S., Sims, G.P., Chen, X.X., Gu, Y.Y., Chen, S., & Lipsky, P.E. (2007). Modulatory effects of 1,25hydroxyVD₃ on human B cell differentiation. *J. Immunol.*, 179; 1634–1647
- 28 Rook, G.A., Steele, J., & Fraher, L. (1986). VD₃, gamma interferon, and control of proliferation of Mycobacterium tuberculosis by human monocytes. *Immunology*, 57; 159–163.
- 29 Epstein, S., Stern, P.H., & Bell, N.H. (1984). Evidence for abnormal regulation of circulating 1,25-dihydroxyVD in patients with pulmonary tuberculosis and normal calcium metabolism. *Calcif Tissue Int.*, 36; 541–544.
- 30 Edfeldt, K., Liu, P.T., Chun, R., Fabri, M., Schenk, M., Wheelwright, M., Keegan, C., Krutzik, S.R., Adams, J.S., & Hewison, M. (2010). T-cell cytokines differentially control human monocyte antimicrobial responses by regulating VD metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 107; 22593–22598
- 31 Ramanathan, B., Davis, E.G., Ross, C.R., & Blecha, F. (2002). Cathelicidins: Microbicidal activity, mechanisms of action, and roles in innate immunity. *Microbes Infect.*, 4; 361–372.
- 32 Sørensen, O., Cowland, J.B., Askaa, J., & Borregaard, N. (1997). An ELISA for hCAP-18, the cathelicidin present in human neutrophils and plasma. *J. Immunol. Methods.*, 206; 53–59.
- 33 Jeng, L., Yamshchikov, A.V., Judd, S.E., Blumberg, H.M., Martin, G.S., Ziegler, T.R., & Tangpricha, V. (2009). Alterations in VD status and anti-microbial peptide levels in patients in the intensive care unit with sepsis. *J. Transl. Med.*, 7; 28.
- 34 Wang, T.T., Nestel, F.P., & Bourdeau, V. (2004). Cutting edge: 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ is a direct inducer of antimicrobial peptide gene expression. *J. Immunol.*, 173; 2909–2912.
- 35 Liu, P.T., Schenk, M., & Walker, V.P. (2009). Convergence of IL-1b and VDR activation pathways in human TLR2/1-induced antimicrobial responses. *PLoS ONE*, 4; 5810.
- 36 Wang, T.T., Dabbas, B., & Laperriere, D. (2010). Direct and indirect induction by 1,25-dihydroxyVD₃ of the NOD2/CARD15-defensin b2 innate immune pathway defective in Crohn disease. *J Biol Chem.*, 285; 2227–2231.
- 37 Klionsky, D.J., & Emr, S.D. (2000). Autophagy as a regulated pathway of cellular degradation. *Science*, 290; 1717–1721.

- 38 Levine, B., & Deretic, V. (2007). Unveiling the roles of autophagy in innate and adaptive immunity. *Nat Rev Immunol.*, 7; 767–777.
- 39 Yuk, J.M., Shin, D.M., & Lee, H.M. (2009). VD3 induces autophagy in human monocytes/macrophages via cathelicidin. *Cell Host Microbe.*, 6; 231–243.
- 40 Shin, D.M., Yuk, J.M., & Lee, H.M. (2010). Mycobacterial lipoprotein activates autophagy via TLR2/1/CD14 and a functional VD receptor signalling. *Cell Microbiol.*, 12; 1648–1665.
- 41 Murdoch, D.R., Slow, S., Chambers, S.T., Jennings, L.C., Stewart, A.W., Priest, P.C., Florkowski, C.Mn., Livescy, J.H., Camargo, C.A., & Seragg, R. (2012). Effect of VD3 supplementation on upper respiratory tract infections in healthy adults. The VIDARIS randomized controlled trial. *J. A. M. A.*, 308; 1333–1339.
- 42 Camargo, C.A., Ganmaa, D., Frazier, A.L., Kirchberg, F.F., Stuart, J.J., Kleinman, K., Sumberzul, N., & Rich-Edwards, J.W. (2012). Randomized trial of VD supplementation and risk of acute respiratory infection in Mongolia. *Pediatrics.*, 130; 561–567.
- 43 Ferreira, G.B., Overbergh, L., Verstuyf, A., & Mathieu, C. (2013). 1 α ,25DihydroxyVD3 and its analogs as modulators of human dendritic cells: a comparison dose-titration study. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 136; 160–165.
- 44 Penna, G., Amuchastegui, S., Giarratana, N., Daniel, K.C., Vulcano, M., Sozzani, S., & Adorini, L. (2007). 1,25-DihydroxyVD3 selectively modulates tolerogenic properties in myeloid but not plasmacytoid dendritic cells. *J. Immunol.*, 178; 145–153.
- 45 Prietl, B., Theiber, G., Pieber, T.R., & Amrein, K. (2013). VD and immune function. *Nutrients.*, 5(7); 2502–2521.
- 46 Coussens, A.K., Wilkinson, R.J., Hanifa, Y., Nikolayevskyy, V., Elkington, P.T., Islam, K., Timms, P. M., Venton, T.R., Bothamley, G.H., & Packe, G.E. (2012). VD accelerates resolution of inflammatory responses during tuberculosis treatment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 109; 15449–15454.
- 47 Peelen, E., Knippenberg, S., & Muris, A.H. (2011) Effects of VD on the peripheral adaptive immune system: a review. *Autoimmun Rev.*, 10(12); 733–743.
- 48 Provvedini, D.M., Tsoukas, C.D., & Deftos, L.J. (1983). 1,25dihydroxyVD3 receptors in human leukocytes. *Science*, 221; 1181–1183.
- 49 Karmali, R., Hewison, M., & Rayment, N. (1991). 1,25(OH)2D3 regulates c-myc mRNA levels in tonsillar T lymphocytes. *Immunology*, 74; 589–593.
- 50 Lemire, J.M., Archer, D.C., & Beck, L. (1995). Immunosuppressive actions of 1,25-dihydroxyVD3: Preferential inhibition of Th1 functions. *J Nutr.*, 125; 1704–1708.
- 51 Boonstra, A., Barrat, F.J., Crain, C., Heath, V.L., Savelkoul, H.F.J., & Garra, A.O. (2001). 1 α ,25-dihydroxyVD3 has a direct effect on naive cD4+T cell to enhance the development of Th2 cells. *J. Immunol.*, 167; 4974–4980.
- 52 Hewison, M. (2012). An update on VD and human immunity. *Clin. Endocrinol.*, 76; 315–325.
- 53 Enioutina, E.Y., Bareyan, D., & Raymond, A. (2009). TLR-induced local metabolism of VD3 plays an important role in the diversification of adaptive immune responses. *J. Immunol.*, 182; 4296–4305.
- 54 Penna, G., Amuchastegui, S., Cossetti, C., Aquilano, F., Mariani, R., Sanvito, F., Doglioni, C., & Adorini, L. Treatment of experimental autoimmune prostatitis in nonbese diabetic mice by the VD receptor agonist elocalcitol. *J. Immunol.*, 177; 8504–8511.
- 55 Joshi, S., Pantalena, L., Liu, X.K., Sarah, L., Liu, H., RohowskyKochan, C., Yoshimura, A., Steinman, L., Gaffen, S.L., & Ichiyama, K. (2011). 1,25-DihydroxyVD3 ameliorates Th17 autoimmunity via transcriptional modulation of interleukin-17A. *Mol. Cell. Biol.*, 31; 3653–3669.
- 56 Handel, A.E., Handunnetthi, L., Giovannoni, G., Ebers, G.C. & Ramagopalan, S.V. (2010). Genetic and environmental factors and the distribution of multiple sclerosis in Europe. *Eur J Neurol.*, 17(9); 1210–1214.
- 57 Vieira, V.M., Hart, J.E., Webster, T.F., Weinberg, J., Puett, R., & Laden, F. (2010). Association between residences in U.S. northern latitudes and rheumatoid arthritis: a spatial analysis of the Nurses’ Health Study. *Environ Health Perspect*, 118(7); 957–961.
- 58 Hossein-Nezhad, A., & Holick, M.F. (2013). VD for Health: A Global Perspective. *Mayo Clinic Proc.*, 88(7); 720755.
- 59 Gysemans, C.A., Cardozo, A.K., Callewaert, H., Giulietti, A., Hulshagen, L., & Bouillon, R. (2005). 1,25-DihydroxyVD3 modulates expression of chemokines and cytokines in pancreatic islets: implications for prevention of diabetes in nonobese diabetic mice. *Endocrinol.*, 146; 1956–1964.
- 60 Kriegel, M.A., Manson, J.E., & Costenbader, K.H. (2011). Does VD Affect Risk of Developing Autoimmune Disease?: A Systematic Review. *Semin Arthritis Rheum.*, 40(6); 512–531.
- 61 Antico, A., Tampoia, M., Tozzoli, R., & Bizzaro, N. (2012). Can supplementation with VD reduce the risk or modify the course of autoimmune diseases? A systematic review of the literature. *Autoimmun Rev.*, 12(2); 127–136.
- 62 Andjelkovic, Z., Vojnovic, J., Pejnovic, N., Popovic, M., Dujic, A., & Mitrovic, D. (1999). Disease modifying and immunomodulatory effects of high dose 1 alpha (OH) D3 in rheumatoid arthritis patients. *Clin Exp Rheumatol.*, 17(4); 453–456.
- 63 Hollis, B.W. (2005). Circulating 25-hydroxyVD levels indicative of VD sufficiency: implications for establishing a new effective dietary intake recommendation for VD. *J Nutr.*, 135(2); 317–322.
- 64 Drinka, P.J., Krause, P.F., Nest, L.J., & Goodman, B.M. (2007). Determinants of VD levels in nursing home residents. *J Am Med Dir Assoc.*, 8(2); 76–79.
- 65 Ross, A.C., Manson, J.E., Abrans, S.A., Aloia, J.F., Brannon, P.M., & Clinton, S.K. (2011). The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and VD from the Institute of Medicine: what clinicians need to know. *J Clin Endocrinol Metab.*, 96(1); 53–58.

66 Zakharova, I.N., Maltsev, S.V., Borovik, T.Ye., Yatsyk, G.V., Maliavskaia, S.I., & Vakhlova, I.V. (2014). Nedostatochnost vitamina D u detei rannego vozrasta v Rossii: rezultaty mnogotsentrovogo kogortnogo issledovaniia RODNICHOK (2013–2014 gg.) [VD deficiency in young children in Russia: results of the multicenter cohort study RODNICHOK (2013–2014)]. *Voprosy sovremennoi pediatrii — Issues of modern pediatrics*, 6, 13, 30–34 [in Russian].

67 Zakharova, I.N., Klimov, L.Ja., Kurianinova, V.A., Dolbina, S.V., Majkova, I.D., Kasianova, A.N., Anisimov, G.S., Bobryshev, D.V., & Evseeva, E.A. (2016). Obespechennost vitaminom D detei grudnogo vozrasta: zavisimost ot vida vskarmlivaniia i dozy preparatov kholekaltsiferola [VD sufficiency in infants: dependence on the type of feeding and the dose of cholecalciferol preparations]. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii — Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*, 61(6), 68–76 [in Russian].

68 Wang, W., Li, G., He, X., Gao, J., Wang, R., Wang, Y., & Zhao, W. (2015). Serum 25-hydroxyVD levels and prognosis in hematological malignancies: A systematic review and meta-analysis. *Cell. Physiol. Biochem.*, 35; 1999–2005.

69 Kulling, P.M., Olson, K.C., Olson, T.L., Feith, D.J., & Loughran, T.P. (2017). VD in hematological disorders and malignancies. *Eur. J. Haematol.*, 98; 187–197.

70 Zhumina, A.G., Li, K., Konovalova, A.A., Li, Ye.A., Ishmuratova, M.Yu., Pogossyan, G.P., & Danilenko, M. (2020). Plasma 25-hydroxyVD levels and VDR gene expression in peripheral blood mononuclear cells of leukemia patients and healthy subjects in Central Kazakhstan. *Nutrients*, 12; 1229. <https://doi.org/10.3390/nu12051229>.

А.К. Баубекова^{1*}, С.А. Абиев¹, Р.З. Асилханова²¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан;²Астана медицина университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

*Хат-хабарға арналған автор: aizhan_22.02@inbox.ru

Бактериялық обырдың таза штамын алып ағаш тектестерге инфекциялық белсенділігін *in vitro* жағдайында зерттеу

Топырақты құнарландыратын, көп мөлшерде оттегі бөліп шығаратын қалың және әртүрлі нү ормандардың болуы мемлекетке пайдалы. ҚР Тұңғыш Президенті Н. Назарбаев Нұр-Сұлтан қаласын және маңайындағы аймақтарды абаттандыру жөнінде бастама көтерген болатын. «Жасыл белдеу» жобасының мақсаты – қалада және маңайындағы аудандарда жасыл желекті қалыптастыру және оны сақтау. Жасыл белдеуді дамыту бағыты бойынша көптеген жұмыстар жүргізілді. Нұр-Сұлтан қаласын жасыл белдеуге айналдыру үшін қала айналасына түгелдей орман ағаштары егілген. Оның ауданы — 100 мың гектарды қамтиды. Жасыл белдеуде дұрыс егілген ағаштекес өсімдіктер ауаны оттегімен байытудан, декоративті безендірілген пейзаждардан басқа, аймақтарды желдетуге, ластанған ауаны тұрғын үй мен өндірістік аймақтардан бұруға, тік ауа тоғының пайда болуына және ластанған ауаның атмосфераның неғұрлым жоғары қабаттарында шашырауына, сондай-ақ ауаны әр түрлі аэрозольдерден, шаңнан, күйе мен ыстардан тазартуға жәрдемдесуге тиіс. Осы жасыл желектердің өзі ерекше күтімді қажет етеді. Алайда, бұл табиғи байлықтың барлығына кеңінен таралған, бірақ аз зерттелген ауру — ағаш тұқымдарының бактериялық обырының таралуы үлкен қатер тудыруда. Қазіргі таңда мұндай ауру Башқұртстан, Балтық елдері, Татарстан, Адыгей Республикаларында және Ресейдің еуропалық бөлігінде, сонымен қатар Брянск және оған іргелес аймақтарда байқалуда. Аталған елдерде ағаш тұқымдарының осы ауруға ұшырауы ұлғайып келеді, бұл ағаш діндерінің кебуіне нақты қауіп тудыруда. Қазақстанда да ағаш тұқымдарының бактериялық обыры кездеседі. Осыған байланысты, бұл ауруды зерттеу өте өзекті, өйткені ағаштардың зақымдалу ерекшелігі, аурудың диагностикасы, орманды өсіру-таксациялық және ландшафттық жағдайларға байланысты оның таралуы толықтай зерттелмеген. Мақаланың мақсаты — Нұр-Сұлтан қаласын қоршай отырызылған Жасыл белдеу орман шаруашылықтарында өсетін, бактериялық обыр (водянка) белгілері бар сүйелді қайыңның (*Betula pendula* Roth.) діңінен өзек үлгілерін алып, олардан бөлініп алынған бактерия өсімдіктерін қоректік орталарда өсіріп, ауру қоздырғышының таза штамдарын алып, рибосомдық РНҚ 16S нуклеотидтік тізбегінің молекулалық идентификациясын жасау. Сонымен қатар, алынған бактерия штамдарының молекулалық сипаттамаларын Халықаралық Gene Bank базасындағы типтік *Dickeya dadantii* түріне сәйкес келуін анықтау. Зерттеу барысында осы бактерия штамының басқа да ағаш тектестерге инфекциялық белсенділігі *in vitro* жағдайында зерттелді. Бактериялық обырға ұшырамаған қайың ағаштарының жапырақтары мен сырғаларын *in vitro* жағдайында өзіміз бөліп алған *Dickeya dadantii* штамдарымен инокуляциялау патогеннің тәжірибеге алынған қайың популяциясына толықтай вируленттігін, яғни инфекциялық белсенділігі көрсетілген.

Кілт сөздер: бактерия, бактериоз, бактериялық обыр, жара ошағы, өзек үлгісі, штамм, ДНҚ.

Кіріспе

Бактериялық обыр — орман отырғызылымдарының арасында кең тараған жүйелі бактериоз. Бұл фитоауру өсімдіктің тек бір ғана бөлігін зақымдамайды, ол өсімдіктің онтогенез барысында дамитын бүкіл организмнің ауруы, бактериялық обыр барлық өсімдік ұлпаларын, яғни флоэма, ксилема, камбий, ағаштың діңін, бұтасын, тамырын, өсімдіктің генеративті мүшелерін толықтай зақымдайды [1]. Саңырауқұлақтар инфекциясы ағаш өзегінің жасуша қабырғасын толық жойып немесе жартылай зақымдайды, бактериямен зақымдалған ағаш өзегінің жасуша қабырғасы өзгеріссіз қалпында сақталады. Алайда клетка аралық байланыс үзіліп, клеткалар бір-бірінен ажырайды, себебі бактериялық обыр патогены жасушадан тыс фермент бөледі, ол орталық пластинаның деградациялануына әкеледі. Орталық пластинаның зақымдалуы өсімдік ұлпасының мацерациялануына, қатпарлануына әкеледі, ағаш дымқыл жұмсақтанып микроорганизмдер үшін қолайлы ортаға айналады, микроорганизмдер клетка қабырғасындағы лигнин мен целлюлозаны ыдыратып, зақымдау үдерісін аяқтайды [2].

Аурудың сыртқы белілеріне келетін болсақ, ағаш діңінде және бұталарында болатын шырышты сұйықтық аққан некротикалық дымқыл жаралар мен ажырақтар. Сұйықтық газдалып,

көпіршіктенген, ашыған қышқыл иісті болады. Ауруға шалдыққан ағаштардың жапырақтары мен инелері түстері қоңырқай түске өзгереді. Бактериялық күйік аурумен салыстырғанда, бактериялық обырмен ағаштардың төменгі бөлігі басым зақымданады.

Бактериялық обырдың ішкі симптомдарына келетін болсақ, діндегі дымқыл домалақ, жұлдызша тәрізді патологиялық ядро, бұталарды, тамырды да зақымдап, қатты күшпен жиналған газ арқылы діндегі жаралар мен ажырақтар арқылы сыртқа шығады. Қатты зақымданған ұлпаларда некротикалық мацерацияланған жұмсақ шырышты шірік қалыптасады [1]. Ағаштарда бактериялық обырдың белгілері көктемнің алғашқы айларында көріне бастайды, бұл мезгілде ағаш діңінен экссудатқа толы ісіктерді байқауымызға болады. Бактериоздардың қарқынды қозып даму уақыты көктем және күз айлары деп берілген, себебі осы мезгілдерде ағаш діңіндегі крахмал мен қант концентрациясы басым болады [3].

Бактериялық обыр және оның қоздырғышы *E. multivora*-ны алғаш рет КСРО-да қылқан жапырақты және жапырақты тұқымдарда Щербин-Парфененко 1963 жылы сипаттаған [4]. Шет елдерде ең алғаш болып Carter, 1945 қараағаш тұқымдарының бактериялық обыры мен оның қоздырғышына (*E. nimipressuralis*) сипаттама берді [5]. Украина орманында жалпақ жапырақтылардың, Орта Сібірде қылқан жапырақтылардың бактериялық обырын зерттеу барысында *E. nimipressuralis* оның патогені ретінде анықталды. Ылғалды ағаш (мокрая древесина) атты аурудың белгілеріне діндегі жарықтар, газ түзілуі және шырыштың ағып кетуі байқалды. Тіндердің ыдырауы және мацерациясы, қабығы мен тамырларының, тұқымдарының зақымдануы байқалмайды. Аталған ауру симптомдары бактериялық обырдың белгілерімен сай келмеуі, фитопатологтар арасында аурудың қоздырғыштары туралы біршама сұрақ туындатты.

Бактериялардың қасиеттерін салыстыра отырып, *E. multivora* бактериялық обыр патогенезінің барлық бес белгілерін тудыратынын (көмірсулардың ашуы, газ түзілуі, пектолитикалық ферменттер өндірісі), ал *E. nimipressuralis* — тек алғашқы екеуі (көмірсулардың ашығуы және газдың пайда болуы) тудыратыны дәлелденді. Пектиназа, протопектиназа және пектат лиазы ферменттерінің фитопатогенді бактериялардың синтездеуі кальций пектаттарынан тұратын ортаңғы тақтаның сұйылуына, жасушааралық қалқандардың бұзылуына әкеледі. Паренхиманың жасушаларын жабыстыратын пектиндік заттар шырышқа айналады, тіндердің мацерациясы пайда болады (тұқымдардың, жемістердің жұмсақ шіруі), жасуша паренхимасының талшықтарға ыдырауы (ағаш пен бастың сінуі), жасуша құрамының экссудаттармен, шырышпен және сұйықтық тамшыларымен бөлінуі. Бұл егу және биохимиялық сынақтармен бірнеше рет расталған *E. multivora* бактериясына тән қасиеттер. *E. nimipressuralis* пектолитикалық ферменттер түзбейді және тіндердің мацерациясын тудырмайды. Қоздырғыш ретіндегі түрлер ешқашан тамырлардан, топырақтан, көшеттерден, жемістерден, тұқымдардан, гүлдерден табылмаған. Шет елдер әдебиеттерінде *E. nimipressuralis* бактериясы жеке түрлер қатарында ұсынылған жоқ, оны атипикалық (*Erwinia* тектес үшін) «патогендік қасиеттері күмәнді түр» деп атады [6]. Түрдің идентификациясына, олардың патогендік қасиеттерін ескермей бактериялық обыр мен ылғалды ағаш ауруларының қоздырғыштары *E. nimipressuralis* деп көрсетілді, алайда түрлердің штамдары халықаралық генетикалық банктерде — ATCC 9912, ICMP 1577, LMG 10245 және NCPPB 2045 коллекцияларында ұсынылып, ДНҚ-ДНҚ мен ДНҚ-рРНҚ будандастыру (гибридизациялау), 16S rRNA, MLSA және т.б. молекулалық-генетикалық әдістерін қолдану түрдің қайта жіктелуіне әкелді, нәтиже бойынша *Erwinia nimipressuralis* — *Enterobacter nimipressuralis* түріне жатқызды. *Enterobacter* түрінің пектолитикалық ферменттер өндірмеуіне байланысты, *E. nimipressuralis* — *Enterobacter nimipressuralis* түріне жатқызылуы бактериялық обыр этиологиясында ешқандай өзгеріс туындатпады. *E. nimipressuralis* патогенділігі басқа зерттеушілермен де расталмаған. Түр фенотиптік жағынан *Ent. cloacae*-ға жақын келеді [7]. Екі түрдің генетикалық қатынас деңгейі жоғары болды (от 52 до 67 % по ДНҚ-гибридизация), нәтижесінде *E. nimipressuralis* «*E. cloacae* complex» топтастырылды. Бұл түрлерді *Ent. cloacae* синонимі деп санауға негіз болды [8]. Тағы да бір фитопатологтардың қайта жіктеуінің нәтижесінде *E. nimipressuralis* *Enterobacter*-дан алынып, [5] *Lelliottia nimipressuralis* атауын халықаралық каталогтардан алды (JCM; LPSN және т.б.) [9]. Қазіргі таңда *Lelliottia nimipressuralis* бактериялық обыр мен ылғалды ағаш ауруларының қоздырғышы ретінде қарастырылмайды, зерттеулер барысында *L. nimipressuralis* шіріту патологиясына қатысы жоқ, сапрофитті фитоэндофит екендігі дәлелденді. КСРО кезінде жеміс ағаштарының бактериялық обырының қоздырғышы *E. carotovora* деп сипатталды [10], ал А.Ф. Гойчук емен діңінен *E. nimipressuralis* бөліп алды. *E. carotovora* алдыңғы зерттеулер барысында да бактериялық обырға қатысы бар екендігі қарастырылған, кейіннен

E. nimipressuralis мен *E. carotovora* бір түрге жатқызылды [11]. 1963 жылы А.Л. Щербин-Парфененко 22 түрге жататын қылқан жапырақтылардан бактериялық обырды анықтап, қоздырғыштарына грамтеріс, спора түзбейтін *Erwinia multivora* деп сипаттама берді. Өткен ғасырдың 70-ші жылдары жүргізілген зерттеулер Оңтүстік Батыс-Сібір және Солтүстік Қазақстан ормандарындағы қайың ағаштарында бактериялық обырдың қарқынды тарала бастағанын көрсетті [4]. Қазақстанда бұл аурудың таралу аймақтарына Қостанай, Солтүстік Қазақстан, Павлодар облыстары кіреді. Соңғы кездері жарияланған мәліметтерде Қазақстан жерінде қайың ағаштарындағы обыр қоздырғыштары жайлы алғашқы әдеби мәліметтерде келтірілген грамтеріс факультативті аэробты бактерия *Erwinia multivora* емес, басқа *Pseudomonas sp.*, *Enterobacteriaceae sp.*, *Pectobacterium caratovororum* және *Dickeya dadantii* сынды бактериялар анықталғандығы келтірілген [12].

Erwinia туысы *Enterobacteriales* қатарына жататын фитопатогенді бактериялар тобы. Көлемі 1–3×0,5 1 мкм грамтеріс таяқша тәрізді, факультативті анаэробтар. Бұл туысты Winslow et al. [13] 1917 жылы анықтап, оған америкалық патологанагом Erwin F. Smith есімін берді. 1945 жылы Waldee [6] *Erwinia* туысын *Pectobacterium* деп ауыстыруды ұсынды. 1968 жылы Dye [14] биохимиялық сипаттамаларын негізге ала отырып, *Erwinia* туысын төрт түрге бөлді: *Erwinia amulavora* — алма ағашының және басқа да раушан тұқымдастарының — *Rosaceae (Spiraeoideae)* патогені, жеміс өсімділерінің бактериялық күйік ауруының қоздырғыштары; *Erwinia carotavora* — әртүрлі туыс өкілдерінің, оның ішінде картоптың, жерүсті бөліктерін, сондай-ақ жерасты бөліктерін де, оның ішінде түйнектерін зақымдап, ұлпаларының қараюы мен шіруін, жапырақтардың ширатылуы мен сарғаюын туындатады; *Erwinia herbicola* астық тұқымдастарының бактериозының қоздырғышы. Соңғы төртінші топқа түрлік атау берілмей оны «ерекше *Erwinia*» тобы деп топтастырды. Келесі жылы (1969) сол Dye [15] *Erwinia* туысын беске бөлді: *E. amylovora* (var. *amylovora*, var. *salicis*, var. *traceiphila*, var. *quercina*, var. *nigrifluens*, var. *rubrifaciens*); *E. herbicola* (var. *herbicola*, var. *ananas*); *E. uredoovororum*; *E. stewartii* және *E. carotovora* (var. *carotovora*, var. *atroseptica*, var. *rhapontici*, var. *chrysanthemi*, var. *cyripedii*). Осы жылы Dye-ның ұсынысы бойынша Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 8-ші басылымында *Erwinia carotavora* түрі келесідей түрлер мен түр тармақтарына жіктелді: *Erwinia cyripedii*, *Erwinia rhapontici*, *Erwinia carotovora* var. *atroseptica*, *Erwinia carotovora* var. *carotovora* және *Erwinia chrysanthemi* [16].

Аталған түр тармақтарының ішінде *E. chrysanthemi* ең патогенді бактериялардың бірі болып танылды. Кейінгі зерттеулер барысында оның 16 қосжарнақты және 10 даражарнақты өсімдік тұқымдастарында бактериоз ауруын қоздыратыны анықталған [17]. Сондай-ақ оның көптеген тропиктік және субтропиктік аймақтардың өсімдіктерін зақымдайтыны белгілі. Өсімдіктің тамырын, түйнектерін, шырынды етжеңді мүшелерін бұзатын жұмсақ шірік ауруын қоздырады, тамыр ксилемасын отарлап, өсімдікті жүйелі түрде зақымдайды.

Dye [18] 1978 жылы *E. chrysanthemi*-дің патологиялық және биохимиялық қасиеттерін негізге ала отырып, оны бірнеше патоварианттарға жіктеді (pv. *zeae*, pv. *dieffenbachiae*, pv. *parthenii* және pv. *dianthicola*). 1980 жылы Dickey және Victoria банан өсімдігінен анықталған жаңа патовариант pv. *paradisiaca*-ны *E. chrysanthemi*-мен біріктірді. 1998 жылы 16S рДНК нуклеотидтік тізбегін негізге ала отырып, Hauben et al. [19] *E. chrysanthemi*-ді жаңа атау алған *Pectobacterium* туысына кіргізіп *P. chrysanthemi* деп атауды ұсынды. Кейіннен *E. chrysanthemi* pv. *paradisiaca*-ны *Brenneria paradisiaca* деп атап жаңа таксондық статус берді және түр деңгейіне көтерді [19]. 2005 жылы фенотиптік тест, днк-днк гибридизация, серология және 16S рДНК нуклеотидтік тізбегін талдау көмегімен Samson et al. *E. chrysanthemi*-ді *Erwinia* туысынан бөліп алып, оған белгілі микробиолог R.S. Dickey есімін беріп, жаңа статусқа *Dickeya* туысына көтерді [17]. Сонан соң, осы туысқа *Pectobacterium chrysanthemi* мен *Brenneria paradisiaca*-ны кіргізді. Сонымен, ол *Dickeya* туысына 6 түрді жатқызуды ұсынды: *D. chrysanthemi*, *D. dadantii*, *D. dianthicola*, *D. dieffenbachiae*, *D. paradisiaca* және *D. zeae*.

Зерттеу әдістері мен нәтижелері

Зерттеу материалдары маршруттық бақылау барысында Нұр-Сұлтан қаласын қоршай отырғызылған жасанды Жасыл белдеу орман шаруашылықтарынан алынды. Жасыл белдеу шаруашылықтарында қайың ағаштары көптеп отырғызылған және олардың жас шамалары әрқалай (15–30 жыл). Осы орман шаруашылықтар аумағында ертеректе, XX ғасырдың 70-ші жылдары отырғызылған және олармен аралас өскен табиғи қайыңды шоқ ормандар да кездеседі. Жасанды жасыл белдеудегі екпе отырғызылымдардағы көптеген ауру түрлері, оның ішінде бактериялық обыр да, осы ескі шоқ ормандардан таралуы әбден ықтимал.

Зерттеу жұмыстары Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің биология және геномика кафедрасына қарасты зертханада және Ұлттық биотехнология орталығы базасында жүргізілді.

Аурудың белгісі бар, морфологиялық өзгеріске ұшыраған қайың ағаштарының діңінен арнайы бұрғы Haglof құралы (ұз. 100–500 мм, дм 4,3 мм) арқылы көлденең бағытта өзек үлгілері алынды (1-сурет). Алынған өзек үлгілері (3×12 см) сыртынан 90 %-дық этил спиртімен сүртіліп, стерильді шыны түтікке салынып, пайдаланғанға дейін тоңазытқышта 3–4 °С-та сақталды. Өзек үлгілерінен ауруға шалдыққан ағаш діңінің қабығынан (тоз, перидерма) бастап камбийдің, сүректің, ондағы трахеялық элементтердің (флоэма, ксилема), сүректік талшықтар (либриформа) мен паренхиманың және өзектің зақымдалатынын көруге болады. Бұл аурудың түтікті-паренхималы індет екенін дәлелдейді. Өзек үлгілерінен ауру қоздырғыштарды бөліп алып, олардың таза штамдарын алу үшін әртүрлі жасанды қоректік орталар пайдаланылды (стандартты агар, каропты агар, ет-пептонды агар, эндо). Стерильді жағдайда, ламинарлық бокс камерасында өзектердің ұзына бойының әр жерінің ішкі тұсынан көлемдері 0,8–1 мм болатындай бөлшектері кесіп алынып, Петри табақшаларындағы қоректік орталарға отырғызылды. Осылай инокуляцияланған қоректік орталар термостатта 26,5 °С-та инкубацияланды. Қоректік ортадағы бактерия колонияларын басқа микроорганизмдерден тазарту үшін қайта себу әдісі, өрмек тәрізді егу әдісі қолданылды (сурет 1).



Сурет 1. А — көлденең бағытта алынған керн; Б — қоректік ортадағы бактерия

Алынған бактериялар штамына Ұлттық биотехнология орталығы базасында ДНҚ бөлу, 16SrRNA гені фрагментінің амплификациясы сияқты жұмыстар ретімен атқарылды.

Гендік типтеу мақсатында бактерия өсінділерінен ДНҚ-ны бөліп алу үшін алдымен шыны түтіктегі өсінділерді пластикалық түтікке ауыстырып, өсінділердің 1 мл мөлшері пайдаланылды. Бұл үдеріс Kate Wilson [5] әдісімен іске асырылды. Алынған үлгі центрифугаға 10 минутқа 12000 мин/айналымға қойылды. Тұнбаға 500 мкл ТЕ буферін араластырып (суспензиялап), оған 20 мкл лизоцим қосып, 37 °С-та 1 сағат инкубацияладық. Сонан соң 30 мкл мөлшерде 10 % SDS және 3 мкл К протеиназа (20 мг/мл) қостық. Оған жасуша мембранасының фрагменттерін, полисахаридтер мен ақуыздардың қалдығын жою үшін 100 мкл 5М NaCl қосылды. Вортексте араластырылып, үстіне 80 мкл СТАВ (10 % СТАВ-та 0,7 М NaCl) ерітіндісі қосылды. Қайтадан вортексте араластырып 65 °С-та 10 минут инкубацияладық. Содан соң бөлініп алынған ДНҚ фенол/хлороформ әдісімен тазаланды. Ол үшін алынған суспензияға 700 мкл хлороформ/изоамил спирті (24/1) қосып, шайқап 12000 мин/айналымда 10 минут центрифугаладық. Бөлінген су бөлігін жаңа шыны түтікке құйып

алып, тағы да фенол/хлороформ (1:1) қоспасын қосып, центрифугалап, өсіндінің бізге қажет емес басқа белок және клетка мембранасының қалдықтарынан тазаладық. Сонан соң оның жоғарғы сұйықтық бөлігін (1,5 мл) жаңа шыны түтікке құйып алып, оған 600 мкл изопропил спиртіні қосып ДНҚ-ны тұндырып алдық. Шыны түтіктің түбінде тұнған ДНҚ-ны 70 % этил спиртімен шайып алып, тазаланған ДНҚ үлгілеріне 100 мкл ТЕ буферін қосып — 20°C-қа мұздатқышқа салып қойдық. Бөлініп алынған ДНҚ үлгілерінің концентрациясын 260 нм толқын ұзындығында NanoDrop спектрометрдің көмегімен анықталды.

16SrRNA гені фрагментінің амплификациясы, ПТР келесідей эмбебап праймерлермен жүргізілді: 8f 5'-agagtttgatcctggctcag-3 және 806R-5'ggactaccagggtatctaat. Пайдаланылған реакция қоспасының мөлшері 20 мкл-ға тең болды. ПТР қоспасы 150 нг ДНҚ, 1 бірлік Taq DNA Polymerase (Fermentas), әр біріне 0,2 mM дНУФ (дезоксинуклеозодоүшфосфат), бір реттік ПТР буфер (Fermentas) 2,5 mM MgCl₂, әр біріне 10 пмоль праймер қосылды. ПТР амплификациясының бағдарламасы бірінші 95 °C-та 7 минут аралығында денатурация, 30 циклмен кезектесетін — 30 секунд, 55 °C — 40 секунд, 72 °C — 1 минут, 7 минут 72 °C температурамен соңғы элонгациямен аяқталады.

Нуклеотидтік тізбекті анықтау. Байланыспаған праймерлерден ПТР өнімін тазалау үшін ферменттік әдіс Exonuclease I (Fermentas) пен сілтілік фосфатаза (Shrimp Alkaline Phosphatase, Fermentas) пайдаланылды. Ал секвендеу реакциясы BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) өндірушінің қолдану ережесі бойынша 3730xl DNA Analyzer (Applied Biosystems) автоматты генетикалық анализаторда, нуклеотидтік тізбекті фрагменттерге ретімен бөлетін секвенаторды қолдану арқылы жүзеге асты.

Зерттелген штамның нуклеотидтік тізбегінің молекулалық идентификациясы мен Gene Bank мәліметтер базасының анализі барысында жоғарғы көрсеткішпен *Dickeya dadantii* бактерия түрін алып, оның қайың ағашының бактериозының қоздырғышы екенін анықтадық.

Дайын бактериялық обыр қоздырғышының штамын сау қайың ағаштарының жапырақтары мен сырғаларына инфекциялық белсенділігін *in vitro* жағдайында зерттеу мақсатында ауру белгілері жоқ қайың жапырақтары мен сырғалары стерильді контейнерлерге жинақталды. Аталмыш материалдар Жасыл белдеу орман шаруашылықтарынан жаз айларында жиналды. Жапырақтар сыртынан 90 %-дық этил спиртімен сүртіліп, артынан дистельденген сумен шайылды. Сонан соң олар бір реттік қолданыста болатын Петри табақшасына орналастырылды. Екі бөлікке бөлінген 3 табақшаға 6 жапырақ орналастырылды. 1-табақшаға 50 мл суға 5 мл бактерия штамы араластырылып құйылды, 2-табақшаның жарты бөлігіне 50 мл суға керненен стерильді жағдайда алынған 5 мл эксудат араластырылып құйылды. 3-табақшаның екі бөлігіне де (құрғақ табақша) орналастырылған жапырақ алақанының бетіне бактерия штамы жағылды. Барлық табақшалар термостатқа 25 °C қойылды. Бақылау әр 2, 5, 7 күн сайын жүргізіліп отырды (сурет 2).



Сурет 2. А — 2, 5, 7 күн аралығындағы бақылау нәтижелері (50 мл су + 5 мл эксудат);
 Б — 2, 5, 7 күн аралығындағы бақылау нәтижелері (керненен стерильді жағдайда алынған эксудат)

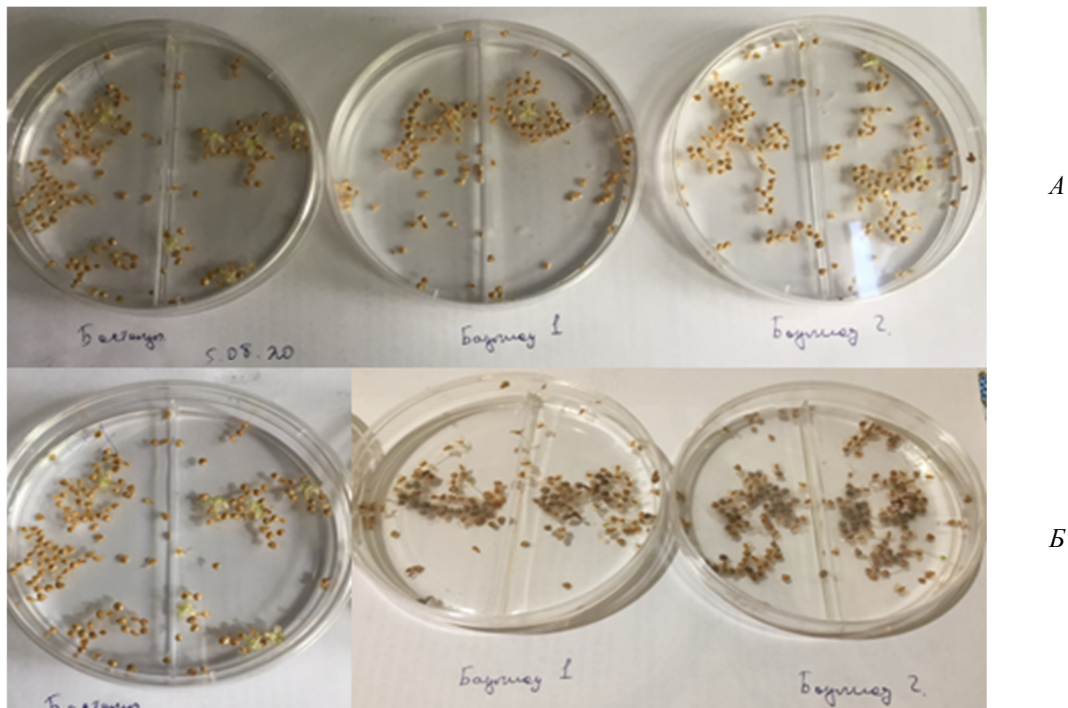
Бактериялық обыр қоздырғышының инкубациялық уақыты 5–7 күн аралығында өтті. 2-суретте А — қатары 50 мл су + 5 мл *Dickeya dadantii* штамы қосылған сұйықтықта, бақылаудың 2 күнінде,

бактериялық обырға шалдыққан қайың ағашы діңіндегі қатты, қоңыр түсті даққа ұқсас торала дақтар пайда болды. 5-ші бақылау күні аталмыш дақтар жапырақ алақанының ортаңғы бөлігін толықтай қамтыды. 7-ші күні жапырақтың үстіңгі және астыңғы бетіндегі, жасыл бағаналы және борпылдақ жасушалардың инокулум бактерия әсерінен зақымданғанын байқадық.

Б-қатары, Петри табақшасының бірінші құрғақ бөлігінде (жапырақ алақанына эксудат тамызылған) тамшы тамызылған жапырақ аймағының қарайғанын аңғардық, 5-ші күні ол шіріп ойық жара көзіне айналды. 7-ші бақылау күні тамшы аймағының толықтай шіріп кеткенін аңғардық (тамшы тимеген аймақ сау). Петри табақшасының екінші 50 мл эксудат құйылған бөлігінде 2-ші бақылау күні солғын дақтар пайда болды. 5 күні олар кара-қоңыр дақтарға айналды. 7 күні дақтардың көлемінің үлкейіп, жапырақ алақанының бағаналы және борпылдақ жасушаларының құрылысы бұзылды.

Қайың ағашының жапырақтарымен жүргізілген екі түрлі жұмыс барысындағы ұқсастық, ол пайда болған дақтар сипаттамалары мен инкубацияланған уақыты (5–7 күн). Ал, дистельденген сумен бактерия штамы араласқан Петри табақшасындағы жапырақтардың, ағаш діңінен алынған эксудатпен зақымдалу процесінен (үдерісі) айтарлықтай ерекшеліктері бар. Ол бірінші жасалынған жұмыста жапырақ тақтайшаларында пайда болған зақымдалу аймақтар әр түрлі көлемде, екіншіден таза эксудат жапырақ жасушаларын шіру деңгейіне дейін жеткізуі.

Келесі жасалынған жұмыс қайың ағашының сырғаларының бактерия штамының әсерінен өзгеріске ұшырауын қадағалау. Стерильді жағдайда жинақталған қайың сырғалары 7 күн ішінде кептірілді, үгітіліп алынған сырға дәндерін 90 %-дық этил спиртімен шайып, артынан дистельденген сумен жуылды (сурет 3). 2 сағат ішінде қайта кептіріліп, электронды таразымен өлшенді. Алдын-ала дайындалған екі бөлікке бөлінген 3 Петри табақшаларына 2 г кептірілген дәндер салынды. Біріншісі таза дистельденген су құйылып, бақылау деп белгіленді, қалған 4 бөлікке бактериялық обыр бактерия штамынан 5 мл + 50 мл дистельденген су қосып құйылды. Бақылау әр 2, 5, 7 күндері жүргізіліп отырды.



Сурет 3. А — 5-ші күн бақылау; Б — 7-ші күн бақылау

Қайың ағашының сырғасын *Dickeya dadantii* штамымен зақымдау барысында келесідей ерекшеліктерді байқадық: 2-ші бақылау күнінде ешқандай өзгерістер болмады, 5-ші бақылау күні екі бақылау Петри табақшаларындағы кейбір дәндердің кара-қоңыр түске айналғанын көрдік, 7-ші бақылау күні зақымдалған дәндердің саны көбейе түсті. Бастапқы таза суда орналастырылған дәндер өзгеріссіз қалды. Зақымдалған дәндердің түсі бактериялық обырға шалдыққан қайың ағашы діңіндегі

жара көздерінің түсімен сай келді. Бір ерекшелігі Петри табақшасындағы дәндер толықтай зақымдалған жоқ, соңғы бақылау күнгі нәтиже бойынша табақшадағы дәндері 35–40 пайызы ғана зақымдалды.

Қорытынды

Нұр-Сұлтан қаласын қоршай орналасқан Жасыл белдеуде өсіп тұрған қайың ағаштарында кездесетін бактериялық обырдан бөлініп алынған бактерия штамдарын молекулалық гендік зерттеулер нәтижесінде және халықаралық Генбанктегі сәйкес түрлермен салыстыра талдау негізінде *Pectobacteriaceae* тұқымдасының *Dickeya* туысына жататын түр — *D. dadantii* екенін анықтадық.

Бактериялық обырға ұшырамаған қайың ағаштарының жапырақтары мен сырғаларын *in vitro* жағдайында өзіміз бөліп алған *Dickeya dadantii* штамдарымен инокуляциялау патогеннің тәжірибеге алынған қайың популяциясына толықтай вируленттігін, яғни инфекциялық белсенділігін көрсетті. Сонымен, молекулалық гендік және *in vitro* жағдайында жасанды зарардау тәсілдерімен жүргізілген тәжірибе жұмыстары Нұр-Сұлтан қаласын қоршай орналасқан Жасыл белдеуде өсіп тұрған қайың ағаштарында анықталған бактериоз — бактериялық обыр, екінші атауы сулы бактериоз, ал оның қоздырғышы *D. dadantii* екені дәлелденді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Рыбалко Т.Н. Бактериозы хвойных Сибири / Т.Н. Рыбалко, А.Б. Гукасян. — Новосибирск: Наука, 1986. — 84 с.
- 2 Попкова К.В. Общая фитопатология / К.В. Попкова. — М.: Дрофа, 2005. — 445 с.
- 3 Воробьев Г.И. Лесная энциклопедия / Н.А. Анучин. — М.: Сов. энцикл., 1985. — 563 с.
- 4 Щербин-Парфененко А.Л. Бактериальные заболевания лесных пород / А.Л. Щербин-Парфененко. — М.: Гослесбумиздат, 1963. — 148 с.
- 5 Carter J.C. Wetwood of elms / J.C. Carter. — Bull Illinois Nat Hist Surv, 1945. — P. 401–448.
- 6 Bergey's Manual of determinative bacteriology. 8th ed. — Baltimore, 1974. — 1268 p.
- 7 Brenner D.J. III. *Enterobacter asburiae* sp. nov., a new species found in clinical specimens, and reassignment of *Erwinia dissolvens* and *Erwinia nimipressuralis* to the genus *Enterobacter* as *Enterobacter dissolvens* comb. nov. and *Enterobacter nimipressuralis* comb. nov. / D.J. Brenner, A.C. McWhorter, A. Kai, A.G. Steigerwalt. J.J. Farmer // J. Clin. Microbiol. — 1986. — No. 23. — P. 1114–1120 p.
- 8 Hartman J. Bacterial wetwood and slime flux is different from winter pruning sap flow. Kentucky Pest News // Entomology Plant Pathology. — 2000. — No. 872. — Retrieved from <http://www.uky.edu/Agriculture/kpn/kpnhome.htm>
- 9 Bradbury J.F. Guide to the Plant Pathogenic Bacteria. CAB International Mycological Institute / J.F. Bradbury. — Kew, UK, 1986. — 245 p.
- 10 Самусь Т.М. Бактериальные болезни плодовых деревьев в Краснодарском крае и биология их возбудителей: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т.М. Самусь. — Киев, 1973. — 22 с.
- 11 Martinec T. A taxonomic study of *Erwinia amylovora* (Burrill, 1882 — Winslow e.a., 1920) / T. Martinec, M. Kocur // Intern. Bull. Bacteriol. Nomencl. and Taxon. — 1964. — No. 14. — P. 5–14.
- 12 Мироненко О.Н. Бактериальное заболевание березняков в Казахстане / О.Н. Мироненко, С.А. Кабанова, О.Ю. Баранов, М.А. Данченко // Вестн. ПГТУ. — 2016. — № 6. — С. 90.
- 13 Winslow C-E.A. The families and genera of the bacteria. Preliminary report of the committee of the Society of American Bacteriologists on characterization and classification of bacterial types / C-E.A. Winslow, J. Broadhurst, R.E. Buchanan, C. Jr. Krumwiede, L.A. Rogers. G.H. Smith // J Bacteriol. — 1917. — P. 505–566.
- 14 Dye D.W. A taxonomic study of the genus *Erwinia*. I. The, 'amylovora' group / D.W. Dye // New Zeal J Sci. — 1968. — Vol. 11. — P. 590–607.
- 15 Dye D.W. A taxonomic study of the genus *Erwinia*. II. The 'carotovora' group / D.W. Dye // New Zeal J Sci. — 1969. — Vol. 12. — P. 81–97.
- 16 Suharjo R. Phylogenetic study of Japanese *Dickeya* spp. and development of new rapid identification methods using PCR-RFLP / R. Suharjo, H. Sawada, Y. Takikawa // J Gen Plant Pathol. — 2014. — Vol. 80. — P. 237–254.
- 17 Лазерев А.М. Новый возбудитель бактериоза картофеля атакует российские поля / А.М. Лазерев // Защита и карантин растений. — 2013. — № 6. — С. 11.
- 18 Dye D.W. A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria / D.W. Dye // New Zeal J Agric Res. — 1978. — Vol. 21. — P. 153–177.
- 19 Hauben L. Phylogenetic position of phytopathogens within the *Enterobacteriaceae* / L. Hauben, E.R.B. Moore, L. Vauterin, M. Steenackers, J. Mergaert, L. Verdonck, J. Swings // Syst Appl Microbiol. — 1998. — P. 384–397.

А.К. Баубекова, С.А. Абиев, Р.З. Асилханова

Получение чистого штамма возбудителя бактериального рака и изучение его инфекционной активности у древесных пород в условиях *in vitro*

Наличие густых и разнообразных девственных лесов, которые питают почву, выделяют большое количество кислорода, является мечтой каждого государства. Поэтому первый Президент страны Н. Назарбаев распорядился сделать вокруг Нур-Султана большую зеленую зону. Можно с уверенностью утверждать, что данный проект с каждым годом совершенствуется, облагораживается, а зеленый лес окружает все вокруг нашей молодой столицы. Данный проект призван превратить столицу Казахстана — город Нур-Султан — в зеленый пояс, вокруг города полностью засеять лесные массивы, площадь которых составляет 100 тысяч гектаров. Правильно привитые древесные растения в зеленой полосе, кроме обогащения воздуха кислородом, декоративно оформленных ландшафтов, должны способствовать проветриванию зон, отводу загрязненного воздуха от жилых и производственных зон, образованию вертикальных воздушных потоков и рассеиванию загрязненного воздуха в более высоких слоях атмосферы, а также очищению воздуха от различных аэрозолей, пыли, сажи и жары. Тем не менее, все эти природные богатства находятся под большой угрозой из-за распространенности широко известного, но малоизученного заболевания — бактериального рака древесных пород. В настоящее время такая болезнь наблюдается в Башкортостане, странах Балтии, Татарстане, Республике Адыгее, европейской части России, а также в Брянске и прилегающих регионах. В этих странах увеличивается охват пород деревьев этим заболеванием, что создает реальную угрозу усыханию стволов деревьев. В Казахстане также встречается бактериальный рак древесных пород. В связи с этим изучение данного заболевания является весьма актуальным, так как, в силу особенностей поражения деревьев, диагностики заболевания, лесорастительно-таксационных и ландшафтных условий, его распространение изучено не до конца. Целью нашей работы является взятие образцов керна из березы (*Betula pendula* Roth.), которая произрастает в лесных хозяйствах Зеленого пояса, окружающих город Нур-Султан, с признаками бактериального рака (водянка); получение образцов керна из ствола; культивирование выделенных из них культур бактерий на питательных средах; сбор чистых штаммов возбудителя болезни; молекулярная идентификация нуклеотидной цепи рибосомной РНК 16S. Кроме того, определение молекулярных характеристик полученных штаммов бактерий в соответствии с типичным типом *Dickeya dadantii* в Международной базе GenBank. В ходе исследования была изучена инфекционная активность этого штамма бактерий на другие древесные аналоги в условиях *in vitro*. Инокуляция листьев и сережек берез, не подвергшихся бактериальному раку, штаммами *Dickeya dadantii*, выделенными нами в условиях *in vitro*, показала полную вирулентность возбудителя к экспериментальной популяции березы, т.е. инфекционную активность.

Ключевые слова: бактерии, бактериоз, бактериальный рак, язва, ядро, чистая культура, штамм, ДНК.

A.K. Baubekova, S.A. Abiyev, R.Z. Asilkhanova

Obtaining a pure strain of bacterial cancer pathogen and studying its infectious activity in tree species under *in vitro* conditions

Dense and diverse primary forests, which nourish the soil, emit a large amount of oxygen, are the dream of every state. Therefore, the first President of Kazakhstan N. Nazarbayev ordered to make a large green zone around Nur-Sultan, which is being improved and refined every year. This project is designed to turn the capital of Kazakhstan, the city of Nur-Sultan, into a green belt, completely sowing forests around the city, the area of which is 100 thousand hectares. Properly grafted woody plants in the green belt, in addition to enriching the air with oxygen, decorating landscapes, should contribute to the ventilation of zones, the removal of polluted air from residential and industrial zones, the formation of vertical air flows and the dispersion of polluted air in higher layers of the atmosphere, as well as air purification from various aerosols, dust, soot, and heat. Nevertheless, all these natural resources are under great threat due to the prevalence of a little-studied disease-bacterial cancer of tree species. Currently, such a disease is observed in Bashkortostan, the Baltic States, Tatarstan, the Republic of Adygea, as well as in Bryansk and adjacent regions. In these countries, the coverage of tree species with this disease is increasing, which creates a real threat of the tree trunks drying. Bacterial cancer of tree species is also found in Kazakhstan. In this regard, the study of this disease is relevant, since due to the characteristics of the lesion of trees, the diagnosis of the disease, forest-taxation and landscape conditions, its spread has not been fully studied. The purpose of our work is to take core samples from birch (*Betula pendula* Roth.), which grows in the forests of the Green Belt surrounded by the city of Nur-Sultan, with signs of bacterial cancer (dropsy); obtain core samples from the trunk, to cultivate isolated bacterial cultures on nutrient media; to obtain pure strains of the causative agent of the disease, molecular identification of the nucleotide chain of ribosomal RNA 16S. In addition, the determination of the molecular characteristics of the obtained bacterial strains in accordance with the typical

type of *Dickeya dadantii* on the international basis of Gene Bank. In the course of the study, the infectious activity of this strain of bacteria on other woody analogues was studied in vitro. Inoculation of birch leaves and catkins that have not undergone bacterial cancer with *Dickeya dadantii* strains isolated by us in vitro showed complete virulence of the pathogen to the experimental birch population, i.e. infectious activity.

Keywords: bacteria, bacteriosis, bacterial cancer, ulcer, core, pure culture, strain, DNA.

References

- 1 Rybalko, T.N., & Gukasian, A.B. (1986). *Bakteriozy khvoynykh Sibiri [Bacteriosis of conifers of Siberia]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- 2 Popkova, K.V. (2005). *Obshchaia fitopatologiia [General phytopathology]*. Moscow: Bustard [in Russian].
- 3 Vorobev, G.I., & Anuchin, N.A. (1985). *Lesnaia entsiklopediia [Forest encyclopedia]*. Moscow: Sovetskaia entsiklopediia [in Russian].
- 4 Shcherbin-Parfenenko, A.L. (1963). *Bakterialnye zabolevaniia lesnykh porod [Bacterial diseases of forest species]*. Moscow: Goslesbumizdat [in Russian].
- 5 Carter, J.C. (1945). Wetwood of elms. *Bull Illinois Nat Hist Surv*; 401–448.
- 6 Bergey's Manual of determinative bacteriology. 8th ed. Baltimore.
- 7 Brenner, D.J., McWhorter, A.C., Kai, A., Steigerwalt, A.G., & Farmer J.J. (1986). III. *Enterobacter asburiae* sp. nov., a new species found in clinical specimens, and reassignment of *Erwinia dissolvens* and *Erwinia nimipressuralis* to the genus *Enterobacter* as *Enterobacter dissolvens* comb. nov. and *Enterobacter nimipressuralis* comb. nov. *J. Clin. Microbiol.*, 1114–1120.
- 8 Hartman, J. (2000). Bacterial wetwood and slime flux is different from winter pruning sap flow. *Kentucky Pest News*. <http://www.uky.edu/Agriculture/kpn/kpnhome.htm>
- 9 Bradbury, J.F. (1986). *Guide to the Plant Pathogenic Bacteria*. CAB International Mycological Institute. Kew, UK.
- 10 Samus, T.M. (1973). *Bakterialnye bolezni plodovykh derevev v Krasnodarskom krae i biologii ikh vzbuditelei [Bacterial diseases of fruit trees in the Krasnodar Territory and the biology of their pathogens]*. Kiev: Nauka [in Russian].
- 11 Martinec, T., & Kocur, M. (1964). A taxonomic study of *Erwinia*. *Intern. Bull. Bacteriol. Nomencl. and Taxon*, 14; 5–14.
- 12 Mironenko, O.N., Kabanova, S.A., Baranov, O.Yu., & Danchenko, M.A. (2016). Bakterialnoe zabolevanie berezniakov v Kazakhstane [Bacterial disease of birch forests in Kazakhstan]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta — Vestnik of Volga State University of Technology*, 6; 90 [in Russian].
- 13 Winslow, C-E.A., Broadhurst, J., Buchanan, R.E., Krumwiede, C. Jr., Rogers, L.A., & Smith, G.H. (1917). Smith The families and genera of the bacteria. Preliminary report of the committee of the Society of American Bacteriologists on characterization and classification of bacterial types. *J Bacteriol.*; 505–566.
- 14 Dye, D.W. (1968). A taxonomic study of the genus *Erwinia*. I. The 'amylovora' group. *New Zeal J Sci.*, 11; 590–607.
- 15 Dye, D.W. (1969). A taxonomic study of the genus *Erwinia*. II. The 'carotovora' group. *New Zeal J Sci.*, 12; 81–97.
- 16 Suharjo, R., Sawada, H., & Takikawa, Y. (2014). Phylogenetic study of Japanese *Dickeya* spp. and development of new rapid identification methods using PCR–RFLP. *J Gen Plant Pathol.*, 80; 237–254.
- 17 Lazarev, A.M. (2013). Novyi vzbuditel bakterioza kartofelia atakueta rossiiskie polia [New pathogen of potato bacteriosis attacks Russian fields]. *Zashchita i karantin rastenii — Plant protection and quarantine*, 6; 11 [in Russian].
- 18 Dye, D.W. (1978). A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria. *New Zeal J Agric Res.*, 21; 153–177.
- 19 Hauben, L, Moore, E.R.B, Vauterin, L, Steenackers, M, Mergaert, J, Verdonck, L., & Swings, J. (1998). Phylogenetic position of phytopathogens within the Enterobacteriaceae. *Syst Appl Microbiol.*; 384–397.

М.К. Бутумбаева^{1*}, М.М. Силантьева², С.С. Тыржанова¹,
М.А. Норцева¹, Г.К. Турлыбекова¹

¹Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

*Автор для корреспонденции: madina_butumbaeva@mail.ru

Современное состояние популяций и ресурсы *Salvia stepposa* в Центральном Казахстане

Мировой опыт применения лекарственных средств показывает перспективу разработки препаратов, основанных на применении растительного сырья, в том числе дикорастущего. В этом аспекте необходимы полевые исследования по оценке состояния популяций лекарственных растений для организации системы рационального использования и сохранения биологического разнообразия. Для популяций *Salvia stepposa* нами оценивались ботанические особенности, онтогенетический спектр и ресурсные показатели растений. Изучены структурные показатели 4-х популяций *S. stepposa* в горах Улытау, Каркаралы, Спасских сопках и Корнеевских лесах. Определено, что видовой состав сообществ насчитывал от 25 до 44 видов. Популяции в горах Улытау и Каркаралы по соотношению онтогенетических групп определены как молодые; популяции в Корнеевских лесах и Спасских сопках — как средневозрастные. Все популяции находятся в удовлетворительном состоянии и могут использоваться для организации заготовок лекарственного растительного сырья. Совокупная площадь изученных зарослей на территории Карагандинской области составила 45,4 га, урожайность изменялась от 284 до 462 кг/га. Итоговый эксплуатационный запас оценен в 16677 кг, объем возможного сбора — 8339 кг.

Ключевые слова: *Salvia stepposa*, состояние популяций, флористический состав, возрастной спектр, сырьевые запасы, Карагандинская область.

Введение

Расширение сырьевой базы лекарственных растений позволяет успешно применять местное растительное сырье в качестве источника фитопрепаратов [1, 2]. В Казахстане произрастает более 1000 видов лекарственных растений [3], из которых в официальной медицине применяется около 165 [4]. Так, широко используемым официальным лекарственным сырьем является *Salvia officinalis* L. (*Lamiaceae*). Однако данный вид успешно выращивается на территории Южного и Юго-Восточного Казахстана [5, 6], но в более северных регионах вымерзает в зимний период [7].

В Карагандинской области в качестве заменителя указанного выше лекарственного сырья может выступать *Salvia stepposa* Des.-Shost. Вид широко распространен в природных сообществах, успешно интродуцируется в культуре [7], надземная масса имеет сходный химический состав с шалфеем лекарственным [8–10].

В народной медицине шалфей степной применяется для лечения верхних дыхательных путей, при ангинах, для полоскания при стоматитах, гинекологических заболеваниях, воспалении почек, воспалении мочевого пузыря, для снижения лактации, при суставном ревматизме, как общеукрепляющее средство, наружно — при хронических заболеваниях кожи [11].

Экстракты обладают ярко-выраженной антипротозойной, бактериостатической, антифунгальной и антимикробной активностью [10–12], что позволяет рассматривать сырье как перспективный источник лекарственных препаратов. Для подтверждения наличия сырьевой базы в природных условиях необходимы исследования по изучению распространения и запасов.

Цель настоящего исследования — оценить состояние популяций и сырьевых запасов *S. stepposa* на территории Карагандинской области (Центральный Казахстан).

Материалы и методы

Исследования в полевых условиях проведены на территории Каркаралинского, Бухаржырауского и Улытауского районов Карагандинской области. Проанализировано состояние 4-х популяций:

а) популяция 1: шалфейно-злаково-разнотравное сообщество в горах Улытау; GPS-координаты: 48,61317 с.ш.; 67,01364 в.д., 465 м над уровнем моря;

б) популяция 2: типчаково-шалфейно-разнотравное сообщество в Спасских сопках; GPS-координаты: 49,48335 с.ш., 73,28106 в.д., 552 м над уровнем моря;

в) популяция 3: скабиозово-разнотравное сообщество в Корнеевских лесах; GPS-координаты: 50,37514 с.ш., 73,84192 в.д., 419 м над уровнем моря;

г) популяция 4: шалфейно-разнотравное сообщество в горах Каркаралы, GPS-координаты: 49,48331 с.ш., 75,42450 в.д., 648 м над уровнем моря.

При описании популяций применяли традиционные методы геоботанического обследования [13]. На каждой популяции закладывали 12 учетных площадок размером 10×10 м². На площадке проводили учет особей *S. stepposa* по возрастным группам, описывали флористический состав [14]. Определение видов проводили по «Флоре Казахстана» [15], название растений приводили в соответствии со сводками С.К. Черепанова [16].

При описании онтогенеза использовали методику А.А. Уранова [17], тип популяции определяли по Т.А. Работнову [18]. Учитывали следующие возрастные группы: ювенильные растения (*j*), имма-турные (*im*), взрослые вегетативные (*v*), молодые генеративные (*g1*), средневозрастные генеративные (*g2*) и старые генеративные (*g3*).

Изучение распространения, урожайности и сырьевых запасов проводили с помощью общепри-нятых методических указаний [19, 20]. Эксплуатационный запас рассчитывали только для генератив-ных экземпляров, путем умножения площади зарослей на урожайность. Объем возможного сбора сы-рья оценивали как 50 % от эксплуатационного запаса. Все расчеты осуществляли для воздушно-сухого сырья.

Статистическую обработку результатов проводили при помощи программы Statistics 10.2011.

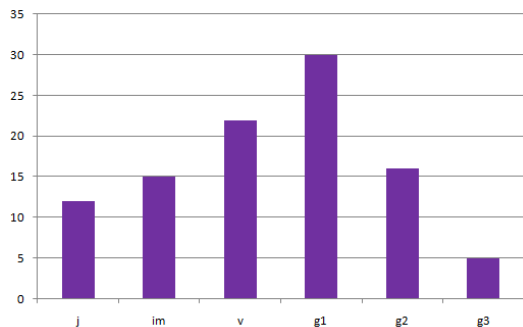
Результаты и обсуждение

S. stepposa в природных сообществах обитает в степях, луговых сообществах, по склонам степ-ных гор, сопок, в межсочных понижениях, по опушкам колковых лесов, среди кустарниковых зар-ослей [15].

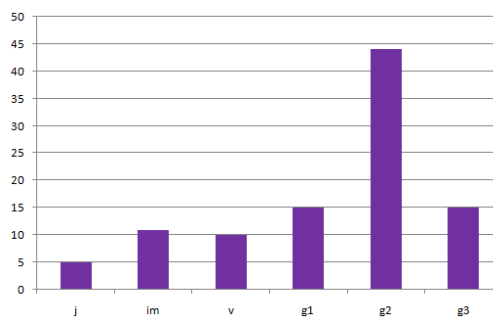
Популяция 1 расположена в долине р. Улкен-Жезды (горы Улытау) в составе шалфейно-злаково-разнотравного (*Herba varia* — *Agropyrum cristatum* — *Salvia stepposa*) сообщества. Почвы каштано-вые, супесчаные. Общее проективное покрытие растительности оценено в 85 %. Растительный по-кров сложен в 2 яруса: высоких (50–80 см) и низких (до 45–50 см) трав. Доминантом является *S. step-posita* с обилием *sp-cop1*, содоминант — *Agropyrum cristatum* — sp. Остальные виды являются компо-нентами: *Glycyrrhiza uralensis*, *Filipendula vulgaris*, *Phlomis tuberosa*, *Gypsophila patrinii*, *Gallium verum*, *Galatella punctata*, *Hypericum perforatum* и другие. Популяция *S. stepposa* охарактеризована как молодая с доминированием виргинильных и молодых генеративных растений (рис. 1А).

В составе популяции обнаружено 25 видов растений из 18 родов и 11 семейств. На обследован-ном участке не выявлено следов антропогенной нарушенности, все виды имели жизненность от 4 до 5 баллов.

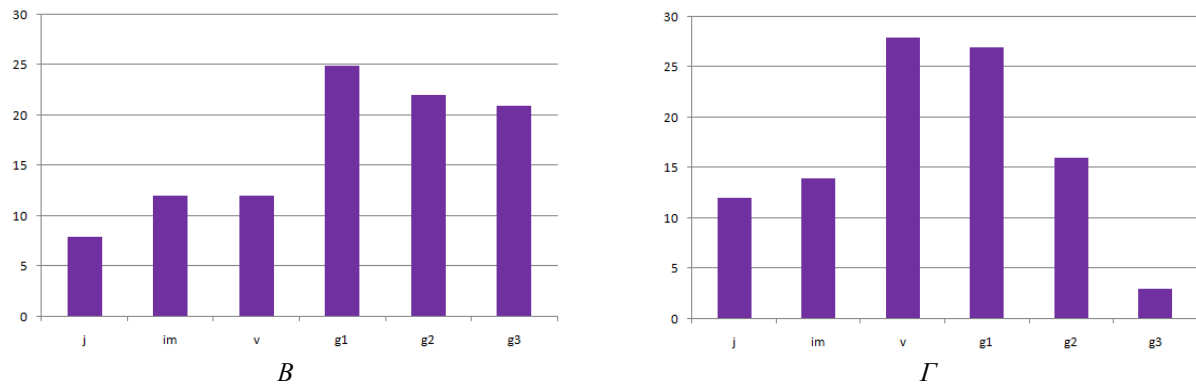
Данная природная популяция пригодна для организации заготовки сырья надземных органов. Площадь зарослей оценена в 8,5 га, урожайность генеративных особей — 354 кг/га. Эксплуатацион-ный запас составил 3009 кг, объем возможного сбора — 1505 кг (табл. 1).



А



Б



A — шалфейно-злаково-разнотравное; *B* — типчаково-шалфейно-разнотравное;
B — скабиозово-разнотравное; *G* — шалфейно-разнотравное

Рисунок 1. Соотношение возрастных фаз в природных сообществах с участием *S. stepposa*

Т а б л и ц а 1

Площадь зарослей и сырьевые запасы надземных органов *S. stepposa* на территории Карагандинской области (в пересчете на воздушно-сухой вес)

Популяция	Название сообщества	Площадь, га	Урожайность, кг/га	Эксплуатационный запас, кг	Объем возможного сбора сырья, кг
1	Шалфейно-злаково-разнотравное	8,5	354±46	3009	1505
2	Типчаково-шалфейно-разнотравное	12,3	462±55	5683	2841
3	Скабиозово-разнотравное	9,6	388±64	3725	1863
4	Шалфейно-разнотравное	15,0	284±12	4260	2130
Итого		45,4		16677	8339

Популяция 2 произрастает в Спасских сопках в межсочном понижении, на луговых зарослях вдоль ручья; формирует типчаково-шалфейно-разнотравное (*Festuca valesiaca* — *Salvia stepposa* — *Herba varia*) сообщество (рис. 2).



Рисунок 2. Цветущие особи *S. stepposa* в Спасских сопках

Почвы темно-каштановые, каменистые, местами — с щебенистыми выходами. Общее проективное покрытие растительности составило 95–100 %; формирует 3 яруса: верхний кустарниковый (90–120 см высотой) составлен особями *Spiraea hypericifolia*, *Caragana frutex*; ярус высоких (50–60 см) и

низких трав (до 40–45 см). Доминантом в сообществе выступает *Festuca valesiaca* с обилием *cop1*, содоминант — *S. stepposa* с обилием *sp*. Видовой состав сообщества представлен 42 видами сосудистых растений из 34 родов и 14 семейств. Наиболее часто встречающиеся таксоны: *Serratula coronata*, *Thalictrum flavum*, *Fragaria viridis*, *Iris songarica*, *Bromopsis inermis*, *Galatella tatarica*, *Filipendula vulgaris*, *Plantago media*, *Nepeta cataria*, *Gypsophila paniculata*, *Ferula tatarica*, *Rhinanthus minor*, *Linaria ruthenica* и другие. Обилие компонентов составило от *sol* до *sp*, жизненность 3–5 баллов.

Популяция *S. stepposa* охарактеризована как средневозрастная устойчивая с доминированием средневозрастных генеративных растений (рис. 1Б). Территория активно используется для выпаса домашнего скота, степень антропогенной нарушенности низкая — около 10–12 %.

Площадь зарослей определена в 12,3 га при урожайности надземных органов 462 кг/га (табл. 1), объем эксплуатационного запаса оценен в 5683 кг, объем возможного сбора сырья в 2841 кг.

Популяция 3 выявлена на лугово-степных равнинах между колковыми лесами Корнеевских лесов. Общее проективное покрытие скабиозово-разнотравного (*Herba varia* — *Scabiosa ochroleuca*) сообщества составило 100 %. Почвы темно-каштановые, суглинистые, местами — слабозасоленные. В сообществе растительный покров образует 2 яруса: высоких (50–100 см) и низких (15–45 см) трав. *Scabiosa ochroleuca* является доминантом с обилием *cop1-sp*, остальные виды являются компонентами с обилием *un-sol-sp* и жизненностью 4–5 баллов. Анализ гербарных сборов позволил выявить 44 вида из 37 родов и 15 семейств. Типичными представителями являлись *Serratula coronata*, *Polygala comosa*, *Thymus marschallianus*, *Agropyron cristatum*, *Plantago lanceolata*, *Rumex crispus*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca arundinacea*, *Medicago falcata*, *Melilotus albus* и другие.

Анализ соотношения возрастных групп *S. stepposa* показало преобладание всех групп генеративных растений (рис. 1В), что позволяет характеризовать популяцию как устойчивую и средневозрастную.

Урожайность сырья составила 388 кг/га, эксплуатационный запас на площади заросли 9,6 га рассчитан на уровне 3725 кг, объем возможного сбора составил 1863 кг (табл. 1).

Популяция 4 описана в горах Каркаралы в составе шалфейно-разнотравного (*Herba varia* — *Salvia stepposa*) сообщества, растет по опушке смешанных лесов. Почвы лесные черноземные. Общее проективное покрытие 95 %, супесчаное. Как и в Спасских сопках, растительный покров сложен в 3 яруса: кустарниковый (90–120 см высотой), высоких (50–80 см) и низких трав (20–40 см). Доминантом является *S. stepposa* с обилием *cop1*, 2 (рис. 3).



Рисунок 3. Цветущие особи *S. stepposa* в горах Каркаралы

Видовой состав представлен 38 таксонами из 33 родов и 14 семейств. Компоненты сообщества имели обилие *so-sp*, жизненность 3–5 баллов. Типичные представители: *Spiraea hypericifolia*, *Rosa spinosissima*, *Filipendula vulgaris*, *Patrinia intermedia*, *Rumex confertus*, *Phlomis tuberosa*, *Festuca valesiaca*, *Centaurea scabiosa*, *Tanacetum vulgare*, *Ferula tatarica*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Achillea millefolium*, *Galium verum*, *Thalictrum simplex*, *Fragaria viridis*, *Thymus marschallianus*, *Dracocephalum nutans*, *Gentiana pneumonanthe* и другие.

Популяция молодая, развивающаяся с преобладанием виргинильных и молодых генеративных особей (рис. 1Г). Территория не используется для хозяйственного использования, поэтому признаков антропогенной деформации не отмечено. Площадь заросли в горах Каркаралы составила 15,0 га, урожайность оценена в 284 кг/га. Эксплуатационный запас рассчитан на уровне 4260 кг, объем возможного сбора сырья — 2130 кг.

Заключение

В целом, изучение 4-х популяций лекарственного растения *S. stepposa* показало, что все они находятся в удовлетворительном состоянии и могут использоваться для организации заготовок лекарственного растительного сырья с соблюдением режимов и периодичности заготовки и мониторингом возрастного спектра. Популяции в горах Улытау и Каркаралы определены как молодые, в Спаских сопках и Корнеевских лесах — как средневозрастные.

Совокупная площадь изученных зарослей на территории Карагандинской области составила 45,4 га, урожайность изменялась от 284 до 462 кг/га. Итоговый эксплуатационный запас оценен в 16677 кг, объем возможного сбора — 8339 кг.

Список литературы

- 1 Mbuni Y.M. Medicinal plants and their traditional uses in local communities around Cherangani Hills, Western Kenya / Y.M. Mbuni, S. Wang, B.N. Mwangi, N.J. Mbari, P.M. Musili, N.O. Walter, G. Hu, Y. Zhou, Q. Wang // *Plants*. — 2020. — Vol. 9(3). — Article ID 331. <https://doi.org/10.3390/plants9030331>
- 2 Sarsenbayev K. Medicinally important plants of Kazakhstan / K. Sarsenbayev // *Vegetation of Central Asia and Environment*. — Springer Nature Switzerland, 2018. — P. 263–289. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_10
- 3 Грудзинская Л.М. Аннотированный список лекарственных растений Казахстана: справоч. изд. / Л.М. Грудзинская, Н.Г. Гемеджиева, Н.В. Нелина, Ж.Ж. Каржаубекова. — Алматы, 2014. — 200 с.
- 4 Государственная фармакопея Республики Казахстан. — Т. 1. — Алматы: Жибек жолы, 2008. — 592 с.
- 5 Нашенова Г.З. Культивируемые лекарственные растения аридной зоны Центрального и Юго-Восточного Казахстана: моногр. / Г.З. Нашенова, М.Ю. Ишмуратова, Ж.Б. Нашенов, Г.А. Денгельбаева, Г.Т. Куныпияева. — Жезказган – Алмалыбак: Изд-во «Типография Ер Мұра», 2011. — 117 с.
- 6 Кылышбаева Г.Б. Исследование биологически активных веществ в видах рода шалфей (*Salvia* L., *Lamiaceae*) в условиях Южно-Казахстанской области / Г.Б. Кылышбаева, Г.Т. Бозшатакбаева, Г.С. Оспанова // *Междунар. журн. прикл. и фундамент. иссл.* — 2013. — № 10 (1). — С. 76, 77.
- 7 Ишмуратова М.Ю. Интродукция лекарственных растений в Центральном Казахстане: моногр. / М.Ю. Ишмуратова. — Караганда: Болашак-Баспа, 2015. — 170 с.
- 8 Suleimen Ye.M. Composition of CO₂-extract of *Salvia stepposa* / Ye.M. Suleimen, S. Machmudah, M.Yu. Ivanova, M. Sasaki, M. Goto // *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University, Chemistry Series*. — 2012. — No. 1 (65). — P. 396–397.
- 9 Полухина Т.С. Количественное содержание тритерпеновых сапонинов в сырье *Salvia stepposa* Schost / Т.С. Полухина, Н.А. Сальникова, К.Ш. Алахвердиева // *Caspian Journal of Medicine and Pharmacy*. — 2021. — Вып. 2, № 4. — С. 19–23.
- 10 Немерешина О.Н. Изучение биологически активных веществ *Salvia stepposa* / О.Н. Немерешина, Н.Ф. Гусев, А.Р. Кувакова // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер. биол., клин. мед.* — 2014. — Т. 12, № 3. — С. 36–41.
- 11 Гладышева О.В. Эколого-биологические особенности прямо-ароматических растений при интродукции в условиях ЦЧР: дис. ... канд. с.-х. наук / О.В. Гладышева. — Воронеж, 2016. — 266 с.
- 12 Levaya Ya.K. Antibacterial activity of ultrasonic extracts of *Salvia stepposa* growing in Kazakhstan / Ya.K. Levaya, M.E. Zholdasbaev, G.A. Atazhanova, S.B. Akhmetova // *Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography*. — 2021. — No. 1 (101). — P. 45–49. <https://doi.org/10.31489/2021BMG1/45-49>
- 13 Быков Б.А. Введение в фитоценологию / Б.А. Быков. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1970. — 226 с.
- 14 Щербаков А.В. Полевое изучение флоры и гербаризация растений / А.В. Щербаков, А.В. Майоров. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 84 с.
- 15 Флора Казахстана. — Т. 1–9. — Алма-Ата: Наука, 1956–1966.
- 16 Czerepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent state (the former USSR) / S.K. Czerepanov. — Cambridge: University Press, 1995. — 940 p.
- 17 Уранов А.А. Жизненное состояние видов в растительных сообществах / А.А. Уранов // *Бюлл. Моск. общ-ва испытателей природы*. — 1969. — Вып. 1. — С. 141–149.
- 18 Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в лесных ценозах / Т.А. Работнов // *Тр. БИНа АН СССР*. — Сер. 3. — 1950. — Вып. 6. — С. 7–204.

19 Пупыкина К.А. Ресурсоведение и стандартизация лекарственного растительного сырья: учеб. пос. / К.А. Пупыкина, С.Р. Хасанова, Н.В. Кудашкина, Э.Х. Галияхметова, Р.Р. Шакирова. — Уфа: Башкир. гос. мед. ун-т, 2019. — 116 с.

20 Методика определения запасов лекарственных растений. — М.: ЦБ НТИ «Лесхоз», 1986. — 52 с.

М.К. Бутумбаева, М.М. Силантьева, С.С. Тыржанова,
М.А. Норцева, Г.К. Турлыбекова

Оргталық Қазақстандағы *Salvia stepposa* таралымдарының қазіргі жай-күйі мен ресурстары

Дәрілік заттарды қолданудың әлемдік тәжірибесі өсімдік шикізатын, оның ішінде жабайы өсімдіктерді қолдануға негізделген препараттарды әзірлеу перспективасын көрсетеді. Бұл аспектіде биологиялық әртүрлілікті ұтымды пайдалану және сақтау жүйесін ұйымдастыру мақсатында дәрілік өсімдіктер популяциясының жағдайын бағалау үшін далалық зерттеулер қажет. *Salvia stepposa* популяциялары үшін өсімдіктердің ботаникалық ерекшеліктері, онтогенетикалық спектрі мен ресурстық көрсеткіштері бағаланған. Ұлытау, Қарқаралы тауларындағы, Спасск шоқыларындағы және Корнеев орманындағы *S. stepposa* популяциясының 4 құрылымдық көрсеткіштері зерттелді. Қауымдастықтардың түрлік құрамы 25-тен 44 түрге дейін болатыны анықталған. Онтогенетикалық топтардың ара қатынасы бойынша Ұлытау және Қарқаралы тауларындағы популяциялар — жас ретінде; ал Корнеев ормандары мен Спасск шоқыларындағы популяциялар — орта жастағы ретінде анықталған. Барлық популяциялардың жағдайы қанағаттанарлық және дәрілік өсімдік шикізатын дайындауды ұйымдастыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Қарағанды облысы аумағындағы зерттелетін тоғайлардың жалпы ауданы 45,4 га құрады, өнімділігі 284-тен 462 кг/га-ға дейін өзгерді. Қорытынды пайдалану қоры 16677 кг бағаланған, ықтимал жинау көлемі — 8339 кг.

Кілт сөздер: *Salvia stepposa*, популяциялардың жай-күйі, флористикалық құрамы, жас спектрі, шикізат қорлары, Қарағанды облысы.

М.К. Butumbayeva, M.M. Silanteva, S.S. Tyrzhanova,
M.A. Nortseva, G.K. Turlybekova

Current state of populations and resources of *Salvia stepposa* in Central Kazakhstan

World experience in the use of medicines shows the prospect of developing drugs based on the use of plant raw materials, including wild-growing ones. In this aspect, field studies are needed to assess the status of medicinal plant populations to organize a system of rational use and conservation of biological diversity. For *Salvia stepposa* populations, we evaluate botanical features, ontogenetic spectrum, and resource indicators of plants. Structural indicators of four populations of *S. stepposa* in the Ulytau, Karkaraly Mountains, Spassky Hills, and Korneev forests are studied. It is determined that the species composition of communities ranged from 25 to 44 species. Populations in the Ulytau and Karkaraly Mountains are defined as young by the ratio of ontogenetic groups; populations in the Korneev forests and Spassky Hills — as medium-aged. All populations are in satisfactory condition and can be used to organize preparations of medicinal plant raw materials. The total area of the studied thickets in the Karaganda region amounted to 45.4 hectares, the yield varied from 284 to 462 kg/ha. The final operating reserve is estimated at 16,677 kg, the volume of possible collection is 8339 kg.

Keywords: *Salvia stepposa*, state of populations, floristic composition, age spectrum, raw materials reserves, Karaganda region.

References

- 1 Mbuni, Y.M., Wang, S., Mwangi, B.N., Mbari, N.J., Musili, P.M., Walter, N.O., Hu, G., Zhou, Y., & Wang, Q. (2020). Medicinal plants and their traditional uses in local communities around Cherangani Hills, Western Kenya. *Plants*, 9(3); 331. <https://doi.org/10.3390/plants9030331>
- 2 Sarsenbayev, K. (2018). *Medicinally important plants of Kazakhstan. In book Vegetation of Central Asia and Environment.* Springer Nature Switzerland, 263–289. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_10

- 3 Grudzinskaia, L.M., Gemedzhieva, N.G., Nelina, N.V., & Karzhaubekova, Zh.Zh. (2014). *Annotirovannyi spisok lekarstvennykh rastenii Kazakhstana: spravocnoe izdanie [Annotated list of medicinal plants in Kazakhstan: reference publication]* Almaty [in Russian].
- 4 (2008). *Gosudarstvennaia farmakopeia Respubliki Kazakhstan [The state pharmacopeia of republic of Kazakhstan]*. Almaty: Zhibek zholy, 1 [in Russian].
- 5 Nashenova, G.Z., Ishmuratova, M.Yu., Nashenov, Zh.B., Dengelbaeva, G.A., & Kunypiaeva, G.T. (2011). *Kultiviruemye lekarstvennye rasteniia aridnoi zony Tsentralnogo i Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: monografiia [Cultivated medicinal plants of the arid zone of Central and Southeast Kazakhstan (monograph)]*. Zhezkazgan–Almalybak: Izdatelstvo «Tipografiia Er Mura» [in Russian].
- 6 Kylyshbaeva, G.B., Bozshatakva, G.T., & Ospanova, G.S. (2013). Issledovanie biologicheski aktivnykh veshchestv v vidakh roda shalfei (*Salvia* L., *Lamiaceae*) v usloviakh Yuzhno-Kazakhstanskoi oblasti [Study of biologically active substances in sage erysipelas (*Salvia* L., *Lamiaceae*) under conditions of South Kazakhstan region]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy — International Journal of Applied and Fundamental Studies*, 10 (1); 76, 77 [in Russian].
- 7 Ishmuratova, M.Yu. (2015). *Introduktsiia lekarstvennykh rastenii v Tsentralnom Kazakhstane: monografiia [Introduction of medicinal plants in Central Kazakhstan: monograph]*. Karaganda: Bolashak–Baspa [in Russian].
- 8 Suleimen, Ye.M., Machmudah, S., Ivanova, M.Yu., Sasaki, M., & Goto, M. (2012). Composition of CO₂-extract of *Salvia stepposa*. *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University, Chemistry Series*, 1 (65); 396–397.
- 9 Polukhina, T.S., Salnikova, N.A., & Alakhverdieva, K.Sh. (2021). Kolichestvennoe sodержanie triterpenovykh saponinov v syre *Salvia stepposa* Schost [Quantitative content of triterpene saponins in the raw material *Salvia stepposa* Schost]. *Caspian Journal of Medicine and Pharmacy*, 2 (4); 19–23 [in Russian].
- 10 Nemereshina, O.N., Gusev, N.F., & Kuvakova, A.R. (2014). Izuchenie biologicheski aktivnykh veshchestv *Salvia stepposa* [Study of biological active compounds of *Salvia stepposa*]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya biologii, klinicheskaiia meditsina — Bulletin of the Novosibirsk State University. Series Biology, Clinical Medicine*, 12 (3); 36–41 [in Russian].
- 11 Gladysheva, O.V. (2016). *Ekologo-biologicheskie osobennosti priamo-aromaticeskikh rastenii pri introduktsii v usloviakh TsChR [Ecological and Biological Features of Direct-Aromatic Plants during Introduction under CRP Conditions]*. Candidate's thesis. Voronezh [in Russian].
- 12 Levaya, Ya.K., Zholdasbaev, M.E., Atazhanova, G.A., & Akhmetova, S.B. (2021). Antibacterial activity of ultrasonic extracts of *Salvia stepposa* growing in Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography*, 1 (101); 45–49. <https://doi.org/10.31489/2021BMG1/45-49>
- 13 Bykov, B.A. (1970). *Vvedenie v fitotsenologiiu [Introduction into phytocenology]*. Alma-Ata: Izdatelstvo Akademii nauk Kazakhskoi SSR [in Russian].
- 14 Shcherbakov, A.V., & Maiorov, A.V. (2006). *Polevoe izuchenie flory i gerbarizatsiia rastenii [Field study of flora and herbarization of plants]*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].
- 15 (1956–1966). *Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Nauka, 1–9 [in Russian].
- 16 Czerepanov, S.K. (1995). *Vascular plants of Russia and adjacent state (the former USSR)*. Cambridge: University Press.
- 17 Uranov, A.A. (1969). Zhiznennoe sostoianie vidov v rastitelnykh soobshchestvakh [Life status of species in plant communities]. *Bulleten Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody — Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers*, 1; 141–149 [in Russian].
- 18 Rabotnov, T.A. (1950). Zhiznennyi tsikl mnogoletnikh travianistykh rastenii v lesnykh tsenozakh [Life cycle of perennial herbaceous plants in forest pricing]. *Trudy botanicheskogo instituta akademii nauk SSSR. Seriya 3 — Proceedings of Botanical Institute of Academy of Sciences of USSR, ser. 3*, 6, 7–204 [in Russian].
- 19 Pupykina, K.A., Khasanova, S.R., Kudashkina, N.V., Galiakhmetova, E.Kh., & Shakirova, P.P. (2019). *Resursovedenie i standartizatsiia lekarstvennogo rastitelnogo syria: uchebnoe posobie [Research and standardization of medicinal herbal raw materials: training manual]*. Ufa: Bashkirskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet [in Russian].
- 20 (1986). *Metodika opredeleniia zapasov lekarstvennykh rastenii [Procedure for Determination of Medicinal Plant Reserves]*. Moscow: TsB NTI «Leskhoz» [in Russian].

Е.А. Гаврилькова, С.У. Тлеуменова*, Р.Т. Мусина, А.К. Қали

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

*Автор для корреспонденции: damir--6@mail.ru

Влияние физических факторов на жизнеспособность семенного материала *Echinacea purpurea* сорт «Ливадия»

В статье представлены данные о прорастании семян *Echinacea purpurea* сорт «Ливадия» в результате влияния физических факторов. Семенной материал предварительно подвергался криогенному хранению в течение суток, затем семена подвергались лазерному облучению и воздействию магнитных полей в течение определенного времени, а также в эксперименте был применен метод барботирования. В результате проведенных исследований было установлено, что семена, испытывающие воздействие магнитных полей, сохраняют свою жизнеспособность, но не наблюдается улучшения показателей прорастания по сравнению с контрольной группой. Положительная динамика в прорастании семян и прохождении фаз онтогенеза наблюдалась в вариантах опыта с предварительным криогенным хранением семян и последующим барботированием в течение суток, показатели всхожести оказались сравнимыми с контрольными значениями. Семенной материал, облученный He-Ne лазерным лучом, продемонстрировал снижение показателей прорастания по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: семенной материал, *Echinacea purpurea*, магнитное поле, барботирование, облучение He-Ne лазером, криохранение, всхожесть.

Введение

Изучение влияния физических факторов на биологию прорастания видов растений, имеющих лекарственное значение, на сегодняшний день имеет важное практическое и теоретическое значение. Так как лекарственные растения необходимы для обеспечения запасами фармацевтической промышленности Казахстана лекарственным растительным сырьем.

Согласно литературным данным, физические факторы положительно влияют на прорастание семенного материала различных сельскохозяйственных и лекарственных культур. Одним из физических факторов, влияющих на жизнедеятельность растений, является лазерное излучение, которое, в свою очередь, в настоящее время является малоизученным фактором. Но при этом научно доказано, положительное влияние ионизирующего излучения на рост и развитие проростков семян. При облучении семян наблюдается снижение фунгицидной и бактериальной активности, а также улучшение показателей биологической продуктивности видов. В клетках эндосперма и зародыша семян при их лазерной обработке происходит процесс поглощения излучения и наблюдается его вторичное излучение, за счет чего обеспечивается между семенами энергообмен. Лазерное излучение обладает такими свойствами, как монохроматичность. Поглощение ионизирующего излучения производится определенными компонентами семенной кожуры, зародышем и эндоспермом, что способствует запуску биохимических процессов, стимулирующих рост и развитие.

Одним из эффективных методов, позволяющих получить лучшую всхожесть семян, в частности, туговсхожих, является барботирование. Показатели прорастания семян улучшаются за счет повышения проницаемости защитного слоя семенной оболочки и вымывания пузырьками воздуха инфекционных агентов, выводит зародыш семени из состояния покоя, в результате чего наблюдается ускорение фаз онтогенеза. Обработка семян осуществляется в воде, насыщенной кислородом, с использованием компрессора, в течение суток. Преимущества барботирования заключаются в следующем: сокращение времени прорастания, более дружное прорастание семенного материала, активизируется рост проростков, возможность получения более ранних урожаев.

Другим физическим фактором, влияющим на прорастание семян, является магнитное поле. Под его влиянием в растении индуцируются процессы жизнедеятельности растительного организма. В научном сообществе доказано положительное влияние воздействия магнитного поля на прорастание семян различных культур.

Следует отметить, что в Казахстане произрастает порядка 500 видов лекарственных растений, однако многие из них находятся под угрозой исчезновения [1–4]. Учитывая глобальный характер проблемы, необходимо задействование научных подходов сохранения растительных ресурсов, например, таких как криоконсервация семян при температуре жидкого азота [5, 6].

В настоящее время мало изучено влияние физических факторов на прорастание семенного материала лекарственных растений. Лекарственные растения являются ценным биологическим материалом, так как активно используются в фармацевтической промышленности, а также в традиционной и народной медицине. Одним из таких растений является *Echinacea purpurea*, обладающая иммуномодулирующим, противовирусным, противовоспалительным и противоопухолевым действием [7].

Материалы и методы исследования

Объектом для исследований являлся семенной материал *Echinacea purpurea* сорт «Ливадия» из семейства *Asteraceae*. Сорт Ливадия — травянистое многолетнее засухоустойчивое и зимостойкое растение, достигающее в высоту до 100 см, с достаточно крупными пурпурно-розовыми цветками диаметром 7,0–7,5 см.

Была произведена постановка опытов по изучению влияния физических факторов на показатели прорастания семенного материала исследуемого вида. Барботирование семян осуществлялось в тканевых мешочках в мерном пластиковом цилиндре объемом в 1000 мл с погруженным в него компрессором. Два варианта опыта по барботированию было заложено: с предварительным хранением семян в сосуде Дьюара в парах жидкого азота в течение суток и последующим процессом барботирования продолжительностью 24 ч; барботирование семян осуществлялось в тканевых мешочках в течение суток.

Было исследовано влияние магнитных полей на всхожесть семян *Echinacea purpurea* сорт «Ливадия». Семена в пластиковых пробирках были размещены в установку, снабженную магнитами на 1 и 3 суток. В данной установке семенной материал подвергался воздействию постоянного одинарного и двойного магнитного поля. Также были проведены две вариации опытов: с предварительной криоконсервацией семян и без нее.

Изучено влияние лазерного излучения на прорастание семян исследуемого вида. Семена облучались гелий-неоновым лазером с длиной волны 632,8 нм интенсивностью 5 мВт/см² в течение 30 с, 1, 2 и 4 мин. Также семена были предварительно погружены в сжиженный азот на одни сутки, затем подвергнуты облучению.

Замораживание семенного материала производили в пластиковых криопробирках с погружением в жидкий азот в сосуд Дьюара на одни сутки. Размораживали при комнатной температуре +22 °С, +24 °С [8].

Посев семян производился сразу после проведенных экспериментов. В лабораторных условиях семенной материал проращивали в чашках Петри в 4-кратной повторности на 2-х слоях фильтровальной бумаги, смоченной дистиллированной водой. Семена предварительно дезинфицировали 0,5 % КМnO₄. Чашки Петри с семенным материалом помещали в климатическую камеру при температуре +24 °С. Для экспериментов специально семена не отбирали, отбраковывали только поврежденные, с измененной окраской или пустые.

Исследование показателей всхожести и энергии прорастания семенного материала производили по методическим указаниям М.С. Зориной и С.П. Кабанова [9], М.В. Мальцевой [10]. Наблюдение за ростом и развитием проростков проводили в течение 14–18 дней. Статистическую обработку результатов вели по методике Н.Л. Удольской [11] и использованием сайта www.medstatistic.ru [12].

Результаты и их обсуждение

Проанализировав проведенные исследования по изучению влияния магнитных полей на всхожесть семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» было установлено, что семена, подвергнутые воздействию двойного магнитного поля в течение суток, продемонстрировали лучшую всхожесть — 80,0±0 %. Всхожесть в контроле составила 90,0±4,71 %. Без предварительного хранения семенного материала лучшую всхожесть продемонстрировали семена, подвергшиеся воздействию двойного магнитного поля в течение суток — 80,0±0 %. По сравнению с контрольными значениями показатели прорастания снизились в среднем на 11,5 %. В вариантах опыта с предварительным хранением семян в парах жидкого азота и последующим влиянием магнитного поля, лучшая всхожесть наблюдалась у семян с 3-суточным воздействием одинарного магнитного поля — 75,25±3,5 % (табл. 1).

Влияние магнитных полей на жизнеспособность семян *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»

Показатели роста	Контроль	Без криоконсервации				С криоконсервацией			
		одинарное поле		двойное поле		одинарное поле		двойное поле	
		1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток
Энергия прорастания, %	77,0±0	62,5±9,86	50,0±20,0	75,0±5,77	65,0±5,77	75,0±11,06	69,25±0,55	75,0±14,53	60,5±6,35
Всхожесть, %	90,0±4,71	65,0±11,06	55,0±17,3	80,0±0	65,0±5,77	75,0±11,06	75,25±3,5	75,0±14,53	60,5±6,35

Проанализировав полученные данные, было установлено, что семена, испытывающие воздействие магнитного поля, сохраняют свою жизнеспособность, но не наблюдается улучшения показателей прорастания по сравнению с контрольной группой. Тем не менее наилучшую всхожесть продемонстрировали семена без предварительного погружения в пары жидкого азота и подвергшиеся влиянию постоянного двойного магнитного поля в течение суток. Энергия прорастания составила 65,0±5,77 %, всхожесть — 80,0±0 %.

Проведя анализ динамики прорастания семенного материала исследуемого вида, было установлено, что в контрольной группе семена начинают прорастать на 4-й день после посева, всхожесть составила 6,0±4,0 %. Семена, которые были подвергнуты воздействию двойного и одинарного магнитного поля в течение 3 суток без предварительной криоконсервации, продемонстрировали всхожесть на 4-е сутки. Причем всхожесть семян после воздействия одинарного магнитного поля выше, чем при воздействии двойного. На 5-е сутки начали прорастать семена без предварительного криогенного хранения, подвергнутые воздействию одинарного и двойного магнитного поля в течение суток, а также после предварительной криоконсервации и последующего воздействия в течение 3 суток одинарным и двойным магнитными полями. На 6-е сутки начали прорастать семена, предварительно погруженные на сутки в сжиженный азот и оказавшиеся под влиянием двойного и одинарного магнитных полей в течение суток. Дружное прорастание семенного материала наблюдается в контрольной группе — 87,5±2,89 %; 75,0 % всхожести характерно для следующих вариантов опыта: без предварительной криоконсервации и воздействием двойного магнитного поля в течение суток, с предварительным криогенным хранением и последующим воздействием одинарного и двойного магнитных полей (табл. 2).

Динамика прорастания семян *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»

Дни прорастания	Контроль	Всхожесть, %							
		без криоконсервации				с криоконсервацией			
		одинарное поле		двойное поле		одинарное поле		двойное поле	
		1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток	1 сутки	3 суток
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	6,0±4,0	–	15,0±11,06	–	5,0±5,77	–	–	–	–
5	59,25±0,87	10,0±6,67	27,5±11,9	15,0±11,06	21,0±13,55	–	5,0±3,33	–	15,0±3,33
6	59,25±0,87	30,0±11,75	27,5±11,9	50,0±14,91	21,0±13,55	25,0±14,53	35,0±10,34	52,5±17,24	20,0±0
7	59,25±0,87	30,0±11,75	34,5±16,34	55,0±11,06	21,0±13,55	70,0±14,91	50,25±0,29	70,0±20,0	25,0±3,33
8	77,0±0	50,0±14,91	35,0±16,67	75,0±5,77	22,5±15,18	70,0±14,91	65,0±2,75	70,0±20,0	50,25±0,73
9	87,5±2,89	62,5±9,86	50,0±20	75,0±5,77	60,0±9,43	75,0±11,06	65,0±2,75	70,0±20,0	50,25±0,73
10	90,0±4,71	62,5±9,86	50,0±20	75,0±5,77	65,0±5,77	75,0±11,06	69,25±0,55	70,0±20,0	60,0±6,04

Таким образом, изучив влияние магнитных полей на всхожесть семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия», было установлено, что семена в достаточной мере сохраняют жизнеспособность, но, по сравнению с контрольной группой, эти значения ниже. Что же касается прохождения фаз онтогенеза, они не отличимы от контрольной группы, в некоторых вариантах опыта наблюдалась задержка прорастания семени на 1–2 суток. Не рекомендуется использовать данный метод при хранении в парах жидкого азота, а также он не показал улучшения показателей прорастания семян,

так как всхожесть значительно снижается, что обусловлено негативным влиянием на прорастание семени и на развитие проростка.

Проведя серию опытов по изучению влияния процесса барботирования на показатели прорастания семенного материала исследуемого вида, была установлена положительная динамика в прорастании семян и прохождении фаз онтогенеза. Всхожесть семян при барботировании составила $83,0 \pm 3,92$ %, что ниже контрольных значений на 7 %, а в варианте опыта с предварительной криоконсервацией и последующим барботированием в течение суток показатели прорастания составили $89,25 \pm 8,99$ % (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Показатели прорастания семян *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» после барботирования

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	$77,0 \pm 0$	$90,0 \pm 4,71$
Барботирование	$73,0 \pm 9,30$	$83,0 \pm 3,92$
Криоконсервация + барботирование	$70,25 \pm 7,89$	$89,25 \pm 8,99$

Изучив динамику прорастания семян исследуемого вида, было определено, что семена быстрее начинают прорастать после хранения в парах жидкого азота в течение суток и последующего барботирования. Наклевание семени наблюдалось на 2-е сутки. В контрольной группе семена начали прорастать позднее 2-х суток. В вариантах опыта с барботированием без предварительного хранения в парах жидкого азота семена проросли только лишь на 5-е сутки (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Динамика прорастания семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» после барботирования

Дни прорастания	Барботирование	Криоконсервация+барботирование	Контроль
1	–	–	–
2	–	$20,75 \pm 14,4$	–
3	–	$20,75 \pm 14,4$	–
4	–	$70,25 \pm 7,89$	$6,0 \pm 4,0$
5	$51,5 \pm 11,25$	$70,25 \pm 7,89$	$59,25 \pm 0,87$
6	$51,75 \pm 11,43$	$70,25 \pm 7,89$	$59,25 \pm 0,87$
7	$62,5 \pm 5,09$	$83,25 \pm 7,78$	$59,25 \pm 0,87$
8	$70,0 \pm 7,82$	$89,25 \pm 8,99$	$77,0 \pm 0$
9	$73,0 \pm 9,3$	$89,25 \pm 8,99$	$87,5 \pm 2,89$
10	$78,0 \pm 5,85$	$89,25 \pm 8,99$	$90,0 \pm 4,71$

В варианте опыта с криоконсервацией и последующим барботированием исследуемые семена продемонстрировали лучшее прохождение фаз онтогенеза в среднем на 1–2-е сутки, по сравнению с другими вариантами опыта, что связано с положительным воздействием экстремально низких температур и последующим насыщением семенной кожуры пузырьками воздуха.

Таким образом, для ускорения фаз развития проростка и прорастания семян рекомендуется применять барботирование семян, но предварительно необходимо их хранить в парах жидкого азота.

В лабораторных исследованиях было изучено влияние лазерного облучения на прорастание семени и динамику прохождения проростком этапов развития. Семена *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» облучались He-Ne лазером в течение от 30 с до 4 мин. Показатели прорастания сравнивали с контрольной группой проростков. По истечении наблюдения за прорастанием семени и развитием проростка лазерная биостимуляция показала, что наилучшим временем воздействия для всхожести семян является 1 мин. Всхожесть в данном варианте опыта составила 80,5 %, что ниже контрольных значений на 9,5 %, энергия прорастания оказалась ниже на 22 % (табл. 5)

Влияние лазерного облучения на показатели прорастания *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»

Показатели роста	Контроль	Без криоконсервации				С криоконсервацией			
		30 с	1 мин	2 мин	4 мин	30 с	1 мин	2 мин	4 мин
Энергия прорастания, %	77,0±0	45,0±10	55,0±10	50,0±0	55,0±3,33	55,0±5,77	65,0±3,33	60,0±13,33	50,0±0
Всхожесть, %	90,0±4,71	70,0±6,67	80,5±13	70,0±0	70,0±0	60,0±9,43	65,0±3,33	60,0±13,33	75,0±3,33

При сравнении вариантов опыта с предварительным криогенным хранением семенного материала и без него, последующим облучением лазерным лучом было определено, что наилучшие показатели прорастания наблюдаются в вариантах опыта без криоконсервации семян. Так, например, в эксперименте с семенами без криогенного хранения, наилучшую всхожесть продемонстрировали семена, облученные лазером в течение 1 мин, — 80,5±1,3 %. А в варианте опыта с предварительным хранением семян в сжиженном азоте лучшую всхожесть продемонстрировали семена, облученные в течение 4 мин, — 75,0±3,33 %.

Проведя сравнительный анализ по динамике всхожести семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» в различных вариантах эксперимента, было установлено, что прорастание семян, облученных в течение 4 мин без криоконсервации, наступает 3-е сутки. По сравнению с остальными вариантами опытов, прорастание задерживается на 1–2 суток. Семенной материал без криоконсервирования, облученный в течение 2 мин, пророс на 5-й день, а также семена с криогенным хранением, подвергнутые воздействию лазерного луча в течение 1 мин (табл. 6).

Динамика прорастания семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия», облученного лазерным лучом

Дни прорастания	Контроль	Всхожесть, %							
		без криоконсервации				с криоконсервацией			
		30 с	1 мин	2 мин	4 мин	30 с	1 мин	2 мин	4 мин
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	–	–	–	–	5,0±3,33	–	–	–	–
4	6,0±4,0	5,0±3,33	15,0±10	–	10,0±6,67	10,0±6,67	–	10,0±6,67	15,0±10
5	59,25±0,87	35,0±0	55,0±10	35,0±3,33	55,0±3,33	55,0±5,77	30,0±6,67	60,0±13,33	45,0±3,33
6	59,25±0,87	35,0±0	55,0±10	35,0±3,33	55,0±3,33	55,0±5,77	30,0±6,67	60,0±13,33	45,0±3,33
7	59,25±0,87	35,0±0	55,0±10	35,0±3,33	55,0±3,33	55,0±5,77	30,0±6,67	60,0±13,33	45,0±3,33
8	77,0±0	45,0±10	55,0±10	45,0±3,33	60,0±0	60,0±9,43	45,0±10	60,0±13,33	50,0±0
9	87,5±2,89	65,0±10	80,0±13,33	50,0±0	70,0±0	60,0±9,43	65,0±3,33	60,0±13,33	65,0±3,33
10	90,0±4,71	65,0±10	80,0±13,33	50,0±0	70,0±0	60,0±9,43	65,0±3,33	60,0±13,33	65,0±3,33

Таким образом, при облучении семян *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия» He-Ne лазером в достаточной мере сохраняется жизнеспособность, проросток проходит все фазы своего развития. Оптимальным временем воздействия лазерного облучения, позволяющим достичь наилучших показателей прорастания, является 1 мин. Не рекомендуется семена предварительно хранить в парах жидкого азота, так как это приводит к снижению всхожести семян. Метод облучения He-Ne лазером не актуален для исследуемого вида, по-видимому ионизирующее облучение отрицательно сказывается на прорастании семени и развитии проростка.

Проведя сравнительный анализ во воздействие физических факторов на жизнеспособность семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия», было определено, что для достижения максимальных показателей прорастания семени необходимо применять предварительное криогенное хранение семени в течение суток и затем использовать метод барботирования (табл. 7, рис. 1).

**Влияние физических факторов на показатели прорастания
семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»**

Показатели прорастания	Контроль	Двойное магнитное поле (1 сутки) без криоконсервации	Криогенное хранение + барботирование	Без криохранения, облучение лазером He-Ne (1 мин)
Энергия прорастания, %	77,0±0	75,0±5,77	70,25±7,89	55,0±10
Всхожесть, %	90,0±4,71	80,0±0	89,25±8,99	80,5±13

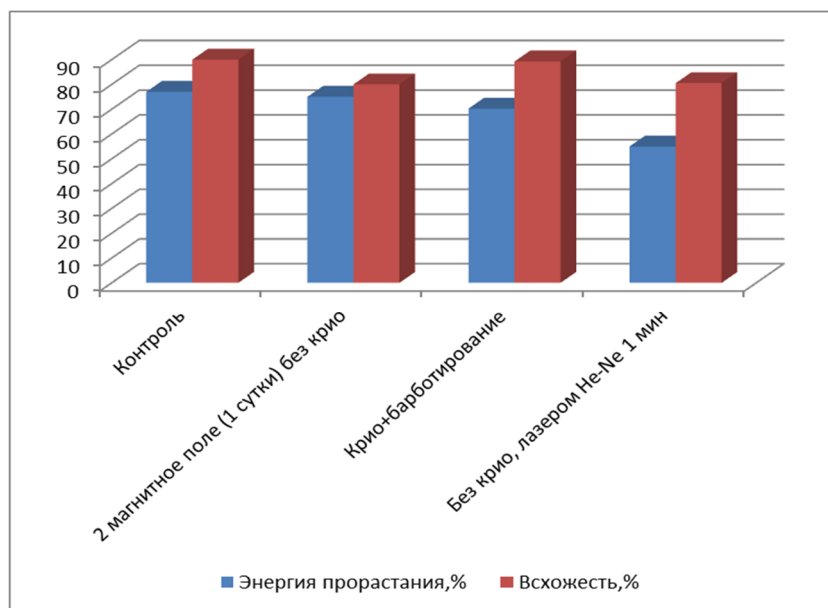


Рисунок 1. Всхожесть семенного материала *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия», прошедшего обработку физическими факторами

При сравнении наилучших показателей прорастания семян исследуемого вида, испытывающих влияние различных вариаций физических факторов, было определено, что семена начинают прорастать быстрее и соответственно этапы онтогенеза наступают раньше в варианте опыта с предварительным хранением семян в парах жидкого азота и последующим барботированием в течение суток. В контрольной группе и в эксперименте с облучением семян He-Ne лазерным лучом прорастание семени наблюдалось на 4-е сутки, а в эксперименте с воздействием на семена двойного магнитного поля они проросли на 5-е сутки (табл. 8, рис. 2).

**Влияние физических факторов на показатели прорастания семян
исследуемого вида *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»**

Дни прорастания	Контроль	Крио+ барботирование	Без крио + лазер (1 мин)	Без крио + 2 магнитное поле (1 сут.)
1	–	–	–	–
2	–	20,75±14,4	–	–
3	–	20,75±14,4	–	–
4	6,0±4,0	70,25±7,89	15,0±10	–
5	59,25±0,87	70,25±7,89	55,0±10	15,0±11,06
6	59,25±0,87	70,25±7,89	55,0±10	50,0±14,91
7	59,25±0,87	83,25±7,78	55,0±10	55,0±11,06
8	77,0±0	89,25±8,99	55,0±10	75,0±5,77
9	87,5±2,89	89,25±8,99	80,0±13,33	75,0±5,77
10	90,0±4,71	89,25±8,99	80,0±13,33	75,0±5,77

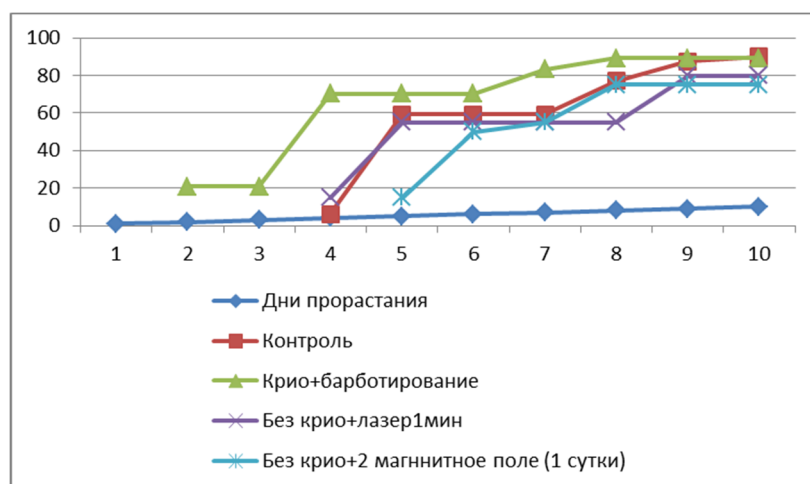


Рисунок 2. Динамика прорастания семян в различных вариантах опыта *Echinacea purpurea* сорта «Ливадия»

Заключение

Согласно проведенному патентно-информационному поиску, было установлено, что физические факторы положительно влияют на всхожесть семенного материала и на развитие проростков. В результате проведенных исследований было определено снижение показателей прорастания в вариантах опыта с облучением семян He-Ne лазерным лучом и воздействием магнитных полей с предварительным хранением в парах жидкого азота и без него. В среднем всхожесть в различных вариантах опыта снизилась от 10 до 40 %, по сравнению с контрольными значениями. Положительное влияние на прорастание семени оказал процесс барботирования, в варианте опыта с предварительным криогенным хранением в течение суток. Показатели прорастания оказались сравнимы с контрольными значениями. Таким образом, метод барботирования может быть рекомендован при организации банка краткосрочного и долгосрочного хранения семян.

Данные исследования выполнены в рамках грантового проекта КН МОН РК AP09259548.

Список литературы

- 1 Флора Казахстана. — Т. 7. — Алма-Ата: Наука, 1964. — 345 с.
- 2 Доброхотова К.В. Лекарственные растения Казахстана / К.В. Доброхотова, В.В. Чудинов. — Алма-Ата: Казах. гос. изд-во, 1961. — 109 с.
- 3 Грудзинская Л.М. Аннотированный список лекарственных растений Казахстана: справоч. изд. / Л.М. Грудзинская, Н.Г. Гемеджиева, Н.В. Нелина, Ж.Ж. Каржаубекова. — Алматы, 2014. — 200 с.
- 4 Красная книга Казахстана. — Т. 2. Растения. — Астана: ТОО Арт Print XXI, 2014. — 452 с.
- 5 Dixit S. Cryopreservation: a potential tool for long-term conservation of medicinal plants / S. Dixit, A.A. Narula, P.S. Srivastava // Plant Biotechnology and Molecular Markers. — New-Delhi: Anamaya Publisher, 2004. — P. 278–288. https://doi.org/10.1007/1-4020-3213-7_19
- 6 Chen S.-L. Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress and prospects / S.-L. Chen, H.-M. Luo, Q. Wu, C.-F. Li, A. Steinmetz // Chinese Medicine. — 2016. — Vol. 11 (37). — P. 2–10. <https://doi.org/10.1186/s13020-016-0108-7>
- 7 Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия: учеб. пос. / под ред. Г.П. Яковлева и К.Ф. Блиновой. — СПб.: Специальная литература, 2004. — 763 с.
- 8 Додонова А.Ш. Рекомендации по криоконсервации семенного материала лекарственных и эндемичных видов растений / А.Ш. Додонова, Е.А. Гаврилькова, М.Ю. Ишмуратова, С.У. Тлеукунова. — Караганда: Полиграфист, 2017. — 76 с.
- 9 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.
- 10 Мальцева М.В. Пособие по определению посевных качеств семян лекарственных растений / М.В. Мальцева. — М., 1950. — 56 с.
- 11 Удольская Н.Л. Методика биометрических расчетов / Н.Л. Удольская. — Алма-Ата: Наука, 1976. — 45 с.
- 12 Электронный ресурс. Режим доступа: <https://medstatistic.ru/>

Е.А. Гаврилькова, С.У. Тлеуенова, Р.Т. Мусина, А.К. Қали

Физикалық факторлардың тұқым материалының *Echinacea purpurea* «Ливадия» сортының өміршеңдігіне әсері

Мақалада физикалық факторлардың нәтижесінде «Ливадия» сортынан *Echinacea purpurea* тұқымдарының өнуі туралы деректер келтірілген. Тұқымдық материал алдын-ала бір тәулік бойы криогендік сақтауға ұшырады, содан кейін тұқымдар белгілі бір уақыт ішінде лазерлік сәулеленуге және магнит өрістеріне ұшырады, сонымен қатар экспериментте көпіршікті (барботирлеу) әдіс қолданылды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде магниттік өрістердің әсеріне ұшыраған тұқымдар өздерінің өміршеңдігін сақтайтыны анықталды, бірақ бақылау тобымен салыстырғанда өну көрсеткіштерінің жақсаруы байқалмады. Тұқымның өнімділігі және онтогенез кезеңдерінің өтуіндегі оң динамика тұқымдарды алдын-ала криогенді сақтаумен және бір тәулік ішінде барботирлеу мен тәжірибе нұсқаларында байқалды, өну көрсеткіштері бақылау мәндерімен салыстырылды. He-Ne лазер сәулесімен сәулелендірілген тұқымдық материал бақылау тобымен салыстырғанда өсу көрсеткіштерінің төмендегенін көрсетті.

Клт сөздер: тұқымдық материал, *Echinacea purpurea*, магнит өрісі, барботирлеу, He-Ne лазермен сәулелену, криосақтау, өнімділік.

E.A. Gavrilkova, S.U. Tleukenova, R.T. Musina, A.K. Kali

The influence of physical factors on the viability of the seed material *Echinacea purpurea* variety “Livadia”

This article presents data on the germination of *Echinacea purpurea* seeds of the variety “Livadia” as a result of the influence of physical factors. The seed material was previously cryogenically stored for a day, then the seeds were exposed to laser irradiation and magnetic fields for a certain time, and the bubbling method was also used in the experiment. As a result of the conducted studies, it was found that seeds exposed to magnetic fields retain their viability, but there is no improvement in germination indicators compared to the control group. Positive dynamics in seed germination and the passage of ontogenesis phases were observed in experimental variants with preliminary cryogenic storage of seeds and subsequent bubbling for one day, germination rates were comparable with control values. The seed material irradiated with a He-Ne laser beam showed a decrease in germination rates compared to the control group.

Keywords: seed material, *Echinacea purpurea*, magnetic field, bubbling, He-Ne laser irradiation, cryopreservation, germination.

References

- 1 (1964). *Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Nauka, 7, 345 [in Russian].
- 2 Dobrokhotova, K.V., & Chudinov, V.V. (1961). *Lekarstvennye rasteniia Kazakhstana [Medicinal plants of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Kazakhskoe gosudarstvennoe izdatelstvo [in Russian].
- 3 Grudzinskaia, L.M., Gemedzhieva, N.G., Nelina, N.V., & Karzhaubekova, Zh.Zh. (2014). *Annotirovannyi spisok lekarstvennykh rastenii Kazakhstana: spravochnoe izdanie [Annotated list of medicinal plants of Kazakhstan]*. Almaty [in Russian].
- 4 (2014). *Krasnaia kniga Kazakhstana. T. 2. Rasteniia [Red Book of Kazakhstan. Vol. 2. Plants]*. Astana: Ltd Art Print XXI [in Russian].
- 5 Dixit, S., Narula, A.A., & Srivastava, P.S. (2004). Cryopreservation: a potential tool for long-term conservation of medicinal plants. *Plant Biotechnology and Molecular Markers. New-Delhi: Anamaya Publisher*, 278–288. https://doi.org/10.1007/1-4020-3213-7_19
- 6 Chen, S.-L., Luo, H.-M., Wu, Q., Li, C.-F., & Steinmetz, A. (2016). Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress and prospects. *Chinese Medicine*, 11(37); 2–10. <https://doi.org/10.1186/s13020-016-0108-7>
- 7 (2004). *Lekarstvennoe rastitelnoe syre. Farmakognozii: uchebnoe posobie [Plant raw materials. Pharmacognosy. Manual]*. G.P. Yakovlev, K.F. Blinova (Ed.). Saint-Petersburg: Spetsialnaia literatura [in Russian].
- 8 Dodonova, A.Sh., Gavrilkova, E.A., Ishmuratova, M.Yu., & Tleukenova, S.U. (2017). *Rekomendatsii po kriokonservatsii semennogo materiala lekarstvennykh i endemichnykh vidov rastenii [Recommendation for cryopreservation of seed materials of medicinal and endemic plant species]*. Karaganda: Poligrafist [in Russian].

9 Zorina, M.S., & Kabanov, S.P. (1986). Opredelenie semennoi produktivnosti i kachestva semian introdutsentov [Examination of seed productivity and quality of seeds of introduced plants]. *Metodiki introduktsionnykh issledovani v Kazakhstane — Methodology of introduction research in Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka [in Russian].

10 Maltseva, M.V. (1950). *Posobie po opredeleniiu posevnykh kachestv semian lekarstvennykh rastenii [Handbook for examination of sowing quality of medicinal plants]*. Moscow [in Russian].

11 Udolskaia, N.L. (1976). *Metodika biometricheskikh raschetov [Methodology of biometric accounts]*. Alma-Ata: Nauka [in Russian].

12 Medstatistic. Retrieved from <https://medstatistic.ru/>

А.В. Жигайлов^{1,2}, Е.О. Остапчук^{1,2*}, Ю.В. Перфильева^{1,2}, Н. Абдолла^{1,2},
Э.Р. Мальцева^{1,2}, Д.А. Найзабаева^{1,2}, С. Куатбекова¹, А. Машжан^{1,3},
А.С. Низкородова^{1,2}, Ж.А. Бердыгулова¹, Ю.А. Скиба^{1,2}, С.М. Мамадалиев¹

¹Национальный центр биотехнологии, Алматы, Казахстан;

²Институт молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина, Алматы, Казахстан;

³Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

*Автор для корреспонденции: katyostapchuk@gmail.com

Анализ рисков распространения катаральной лихорадки овец в Казахстане

Казахстан считается страной, благополучной по катаральной лихорадке овец (КЛО). В то же время мокрецы рода *Culicoides*, являющиеся основными переносчиками вируса, вызывающего КЛО, распространены в стране практически повсеместно. На юге Казахстана сложились идеальные условия для распространения КЛО в случае заноса вируса из других стран, включающие оптимальный для размножения мокрецов климат, высокую плотность восприимчивого к вирусу скота и постоянный приток импортируемого племенного скота из районов, где инфекция является эндемичной. Неконтролируемое распространение КЛО на территории Казахстана может быть сопряжено с колоссальными экономическими потерями в силу того, что овцеводство имеет чрезвычайно важное значение для отечественного животноводства. Экономические затраты в этом случае не будут ограничиваться лишь падежом животных: существенный ущерб может быть нанесен имиджу нашей страны как экспортёру баранины. В настоящем обзоре приведены сведения, подчеркивающие значимость программ по контролю КЛО в Казахстане и эпидемиологический анализ рисков распространения данной инфекции в стране.

Ключевые слова: катаральная лихорадка овец, вирус блютанга, риск распространения, *Culicoides*, эпидемиология, животноводство.

Введение

Катаральная лихорадка овец (КЛО, блютанг, синий язык, болезнь Морро) — инфекционное трансмиссивное вирусное заболевание, поражающее домашних и диких жвачных животных (в основном овец, коз, крупный рогатый скот, буйволов, оленей и верблюдов), вызывая геморрагические и язвенные поражения слизистой оболочки ротовой полости и желудочно-кишечного тракта, воспаление кожи и эпителия венчика копыт, дегенеративные изменения скелетной мускулатуры, некроз скелетной и сердечной мышцы, перикардальные, плевральные и брюшные выпоты, отек легких, а также аборт или рождение ослабленного потомства. Тяжесть заболевания варьирует у разных видов, при этом тяжелое течение наблюдается, в основном, у овец, что приводит к гибели, потере веса и нарушению роста шерсти [1, 2]. В первичных эпизоотических очагах летальность в случае овец может достигать 90 %, при этом в стационарных она обычно не превышает 30 %. Всемирная организация по охране здоровья животных (ранее Международное эпизоотическое бюро — МЭБ) относил КЛО к категории *A* наиболее опасных болезней животных. Диагноз ставят по эпизоотологическим, клиническим, патологоанатомическим и лабораторным данным. Клиническая картина: кровоизлияния и язвы в полости рта и верхних отделах желудочно-кишечного тракта; коронит; субинтимальное кровоизлияние в легочную артерию; отек легких, вентральной подкожной клетчатки и фасций мышц шеи и брюшной стенки.

К вирусу блютанга (BTV) наиболее восприимчивы овцы. Коровы, буйволы, козы и дикие жвачные длительное время могут быть вирусоносителями, не проявляя клинических признаков болезни [2]. Последнее обстоятельство, а также наличие мезогенных штаммов, которые и у овец могут не вызывать видимых симптомов, осложняет оценку риска возникновения эпизоотий, связанных с этой инфекцией. Кроме этого, трансмиссивный характер инфекции существенно осложняет контролируемые мероприятия по сдерживанию и искоренению инфекции на заданной территории.

Хотя нет официальных данных о случаях блютанга в нашей стране, в литературе имеются свидетельства, указывающие на присутствие серопозитивных животных на территории Южного Казахстана [3]. Отсутствие клинических проявлений у инфицированных животных позволяет предположить,

что циркулирующие по территории РК штаммы BTV являются мезогенными, линии которых используются для создания аттенуированных и инактивированных вакцин. Циркуляция по территории страны лишь вакциноподобных генотипов BTV не является причиной лишения ее статуса «благополучной по инфекции» и не требует введения ограничительных зон и карантинных мероприятий [4]. Подобные случаи были зарегистрированы в 2009 г. в Германии и Нидерландах (BTV-6); в 2009 г. в Бельгии (BTV-11); в 2012 г. в Литве, Латвии, Эстонии, Польше и в западных областях России (BTV-14) [5]. Однако существует опасность заноса патогенных штаммов BTV на территорию Казахстана с завозом скота из других стран.

Несмотря на то, что в Казахстане на постоянной основе проводится тестирование чувствительных к КЛЮ животных серологическими методами, данные исследования ограничены, в основном, импортируемым скотом. Кроме этого, государственные программы по контролю КЛЮ в Казахстане не предусматривают тестирование основных переносчиков инфекции, *Culicoides* sp. Также они не затрагивают диких жвачных животных. При этом дикие животные могут стать резервуаром инфекции, повышая риски быстрого распространения вируса.

В настоящем обзоре приведены сведения об эпизоотологической ситуации в Казахстане по катаральной лихорадке овец в Казахстане, результаты эпидемиологической оценки рисков распространения инфекции на территории страны, а также оценка размеров выборки образцов от крупного и малого рогатого скота для проведения мониторинговой программы изучения циркуляции данной инфекции в стране.

Материалы и методы

Эпидемиологические методы. Все расчеты эпидемиологических параметров проводились в программе EpiInfo v. 7.2.2.2 (CDC).

Общий размер выборки для проведения мониторингового исследования в отношении катаральной лихорадки овец был определен по формуле:

$$\text{Размер выборки } (n) = N \cdot \frac{Z^2 \cdot p \cdot \frac{(1-p)}{e^2}}{N - 1 + Z^2 \cdot p \cdot \frac{(1-p)}{e^2}}, \quad (1)$$

где N — размер популяции; Z — критическое значение нормального распределения при требуемом уровне достоверности; p — ожидаемый уровень превалентности, %; e — допустимая погрешность.

Анализ рисков. Для анализа риска и прогнозирования использовали надстройку в Microsoft Excel — Decision Tools Suite 6.0 Professional (Palisade).

Результаты и обсуждение

Описание вируса, способы его передачи и распространения. РНК-содержащий вирус блютанга (BTV) относится к семейству *Reoviridae*, роду *Orbivirus*. Вирион лишён липидной оболочки. Вирус достаточно устойчив во внешней среде, а в сгустках крови он может сохранять жизнеспособность в течение нескольких лет.

Геном BTV представлен десятью линейными двухцепочными сегментами РНК. Вирусный геном кодирует пять неструктурных (NS1, NS2, NS3, NS3A, NS4) и семь структурных (VP1-VP7) белков [6].

Сегменты вирусного генома значительно отличаются по степени консервативности. Вторым сегментом, кодирующей основной поверхностный вирусный белок VP2, является наиболее варибельным. VP2 является основной мишенью для нейтрализующих антител, и именно он, в основном, определяет серотип вируса. В формировании серотипа также принимает участие второй поверхностный белок вируса VP5, хотя и в значительно меньшей степени [1].

В настоящее время выделяют 29 типичных серотипов BTV, в рамках которых могут выделяться отдельные топотипы [7], а также известно несколько претендентов на новые серотипы, вплоть до BTV-36, которые называют атипичными серотипами [8, 9].

Структурные белки, формирующие частицы BTV (VP1, VP3, VP4, VP6 и VP7), а также неструктурные белки (NS1, NS2, NS3, NS4 и NS5) являются значительно более консервативными в сравнении с поверхностными белками VP2 и VP5.

Компетентными переносчиками вируса являются кровососущие мокрецы рода *Culicoides*. Из более чем 1400 видов мокрецов этого рода, только для нескольких десятков видов доказана способность

к амплификации и переносу BTV [10]. Вирус также может передаваться механическими переносчиками, в которых он не амплифицируется, такими как мухи-кровососки [11], мухи-жигалки [12] и некоторые виды клещей [2, 13]. Помимо трансмиссивного пути переноса вируса, описаны случаи вертикальной передачи BTV от матери плоду, а также с аттенуированной вакциной против BTV [14]. Один из серотипов вируса (BTV-26) может передаваться в популяциях коз без векторов.

Способности вируса вызывать персистирующую инфекцию у некоторых особей или видов копытных животных и длительному сохранению в векторах делает болезнь трудно искоренимой [15].

Методы диагностики блютанга

В наибольшей концентрации вирус обнаруживается между пятым и одиннадцатым днями после инфицирования в селезенке и лимфатических узлах, затем в крови животных. Вирус довольно долго может циркулировать в инфицированном организме и может продолжаться детектироваться в крови даже по достижении высокого титра нейтрализующих антител.

Для диагностических целей применяются различные серологические методы: реакция иммунодиффузии в агаровом геле, иммуоферментный анализ (ИФА), метод флуоресцентных антител, реакция связывания комплемента, реакция нейтрализации, реакция непрямой гемагглютинации [1]. Но в настоящее время ИФА практически полностью вытеснил другие серологические методы, хотя реакция нейтрализации продолжает оставаться «золотым стандартом» при определении серотипа вируса. ИФА позволяет проследить динамику развития иммунитета и отличается быстротой и удобством в работе. Главным недостатком этого метода является то, что он позволяет детектировать антитела на возбудителя, но не сам возбудитель. Наборы, в основе которых лежит конкурентный ИФА, более чувствительны и могут быть использованы для тестирования различных видов животных, включая диких жвачных. Наборы, основанные на методе непрямого ИФА, обычно применяются для выявления антител в молоке.

Из серологических методов лишь реакция нейтрализации вируса может быть успешно использована для дифференциации серотипов BTV. Однако этот метод имеет свои ограничения: его затруднительно использовать при смешанных инфекциях и в случае выявления новых серотипов вируса, он является чрезвычайно затратным, трудоемким и сложным для реализации.

Методы на основе гибридизации нуклеиновых кислот позволяют дифференцировать серотипы и топотипы BTV. В то же время все они являются достаточно сложными в исполнении, требуют наличия специального оборудования и проведения оптимизации условий тестирования, что существенно ограничивает их применение на практике для рутинной диагностики блютанга [16].

Методы на основе ПЦР хорошо зарекомендовали себя и при детекции вируса в мониторинговых исследованиях, и в подтверждающей лабораторной диагностике, и в определении серотипа вируса, и для генетической характеристики BTV. Они позволяют выявлять вирус на самых ранних стадиях болезни у павших животных, при персистенции вируса в организме особей со слабым иммунитетом, в латентной стадии болезни, а также в организмах векторов BTV. Важно, что методы на основе ПЦР позволяют достоверно различать вакцинные и невакцинные штаммы вируса [1].

Анализ рисков распространения катаральной лихорадки овец в Республике Казахстан

Несмотря на то, что территория Республики Казахстан является благополучной по КЛЮ, существует риск заноса возбудителя из других стран, в первую очередь, связанный с завозом скота из стран, где циркулирует вирус BTV, или с территории сопредельных государств. В случае заноса инфекции извне, риск распространения КЛЮ на территории страны зависит от нескольких параметров: климатических характеристик, распространенности потенциальных и компетентных переносчиков инфекционного агента и плотности восприимчивых к вирусу животных.

Анализ климатических параметров и распространенности переносчиков

Представители компетентных переносчиков блютанга, *Culicoides* spp., распространены почти по всей территории Казахстана, но максимальная их численность наблюдается в районах, где лето не очень сухое, а зима теплая. На рисунке 1 представлена климатическая карта Республики Казахстан и сопредельных регионов по Кеппен-Гейгеру. Наиболее оптимальные зоны для размножения и развития *Culicoides* sp. из тех, что присутствуют в Казахстане — *Dsa* и *Dsb*. Эти зоны занимают достаточно значительные территории Туркестанской, Жамбылской и Алматинской областей (рис. 1).

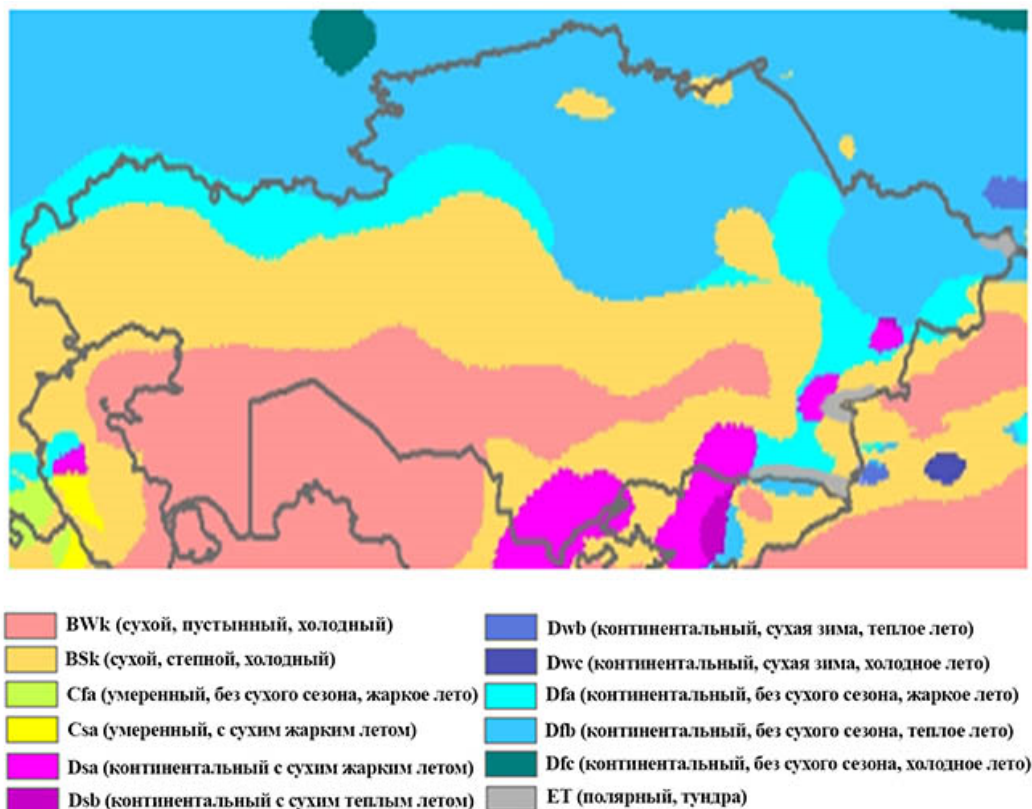


Рисунок 1. Климатическая карта Казахстана и сопредельных территорий по классификации Кеппен-Гейгера (<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at>)

В Казахстане распространены представители следующих подродов мокрецов: *Culicoides*: *Avaritia* (*C. obsoletus*, *C. dewulfi*, *C. chiopterus*, *C. scoticus*, *C. glushchenkova*, *C. fulvus*, *C. dewulfi*), *Culicoides* (*C. punctatus*, *C. Newsteadi*, *C. pulicaris*, *C. grisescens*), *Hofmania*, *Monoculicoides* (*C. riethi*, *C. puncticollis*, *C. helveticus*, *C. nubeculosus*), *Remmia* (*C. oxystoma*), *Oaecata* (*C. heliophilus*, *C. longipennis*, *C. mongolensis*, *C. kurensis*, *C. pictipennis*, *C. shaklawensis*, *C. cubitalis* (*kibunensis*)), *Wirthomyia* (*C. minutissimus*, *C. reconditus*), *Silvaticulicoides* (*C. fastivipennis*, *C. subfascipennis*, *C. pallidicornis*), *Beltranmyia* (*C. desertorum*, *C. sphagnumensis*, *C. circumscriptus*) [17].

Согласно литературным данным, в Южном Казахстане наиболее многочисленны *C. punctatus*, *C. newsteadi* и *C. obsoletus* [18]; в Центральном Казахстане — *C. obsoletus*, *C. dewulfi* и *C. montanus* [18]; в Северном Казахстане — *C. obsoletus*, *C. punctatus* и *C. chiopterus* [19]; в Восточном Казахстане — *C. grisescens* и *C. obsoletus* [19].

Помимо компетентных переносчиков, вирус блютанга может переноситься механически различными кровососущими двукрылыми: мокрецами подрода *Lasiohelea* рода *Forcipomyia*, мухами-кровососками, слепнями, мухами-жигалками. Все эти кровососущие двукрылые насекомые широко распространены на территории Казахстана в различных климатических зонах. Поэтому потенциальный ареал распространения ВТВ может быть шире, чем мокрецов рода *Culicoides*. Важно, что слепни способны подниматься на достаточно большие высоты, куда другие кровососущие двукрылые никогда не поднимаются. Видимо, именно эти кровососущие мухи переносят вирус блютанга в популяциях высокогорных яков.

Риски в связи с численностью поголовья восприимчивых к КЛЮ животных

Известно, что чем выше плотность восприимчивых к вирусу животных, тем выше риск потенциального возникновения и распространения инфекции. Хотя основными хозяевами для вируса блютанга являются овцы, плотность представителей других парнокопытных, а также мозолоногих, которые могут быть носителями вируса блютанга и не проявлять при этом видимых клинических проявлений, также должна учитываться при оценке риска распространения КЛЮ. Важную роль в распро-

странении блютанга могут играть дикие животные, но достоверная информация об их поголовье часто отсутствует в открытых источниках информации.

В таблице 1 представлена информация по численности восприимчивого к вирусу блютанга домашнего скота по областям страны.

Т а б л и ц а 1

Поголовье восприимчивого к ВТV скота по областям

Область	Поголовье МРС, тыс. голов	Поголовье КРС, тыс. голов	Поголовье верблюдов, тыс. голов	Общее поголовье восприимчивых к ВТV животных, тыс. голов
Акмолинская, включая г. Нур-Султан	727,113	538,9	0,1	1266,056
Актюбинская	1464,524	632,5	19,2	2116,196
Алматинская, включая г. Алматы	4809,915	1315,1	8,9	6133,885
Атырауская	714,361	209,3	36,0	959,655
Восточно-Казахстанская	2210,174	1323,4	0,6	3534,198
Жамбылская	3702,388	533,7	8,5	4244,651
Западно-Казахстанская	1466,599	753,9	2,5	2222,921
Карагандинская	1382,277	808,7	1,8	2192,786
Костанайская	551,109	532,5	0,3	1083,869
Кызылординская	847,370	387,1	57,5	1291,977
Мангыстауская	603,099	28,7	84,8	716,558
Павлодарская	740,717	568,1	0,1	1308,866
Северо-Казахстанская	623,083	495,2	0,0	1118,331
Туркестанская, включая г. Шымкент	5944,736	1407,8	39,8	7392,398
Республика Казахстан	25787,47	9534,88	260,00	35582,35

На рисунке 2 представлено ранжирование областей Республики Казахстан по плотности восприимчивого к вирусу блютанга скоту.

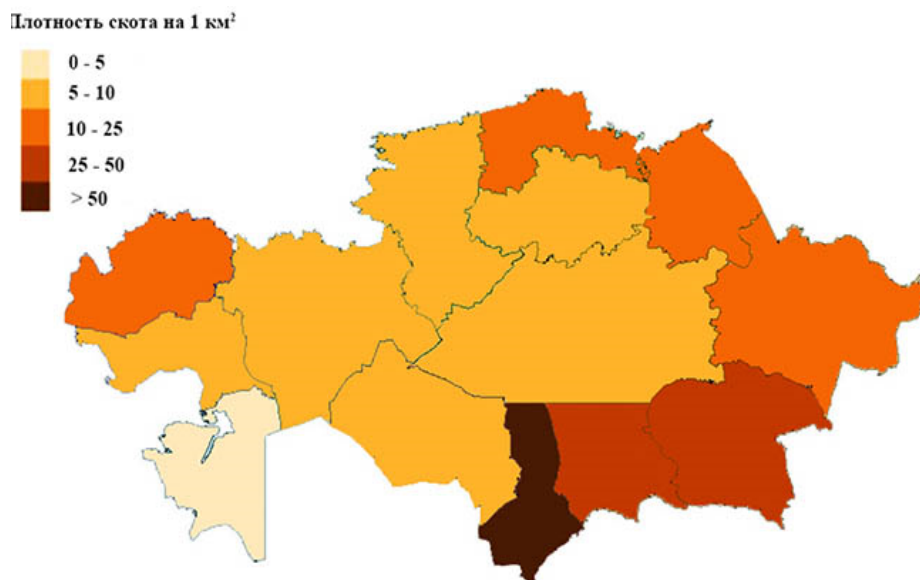


Рисунок 2. Ранжирование областей РК по плотности популяции восприимчивых к вирусу блютанга домашних животных

Анализ рисков заноса блютанга на территорию страны из сопредельных государств. Хотя общее поголовье диких полорогих и мозолоногих в нашей стране не сопоставимо с общим поголовьем домашнего скота, восприимчивого к ВТV, эти животные, тем не менее, могут играть важную роль в заносе инфекции с территории регионов сопредельных государств, в которых КЛЮ распространена. Дикие яки, горные козлы и бараны способны легко преодолевать горные хребты, являющиеся естественной преградой для домашних животных. С этими животными инфекция вполне может перейти с

территории Китая, где циркулируют более десятка серотипов BTV (BTV-1, -2, -3, -4, -5, -7, -9, -12, -15, -16, -25, -27) [20, 21]. Так, было показано, что серопревалентность к BTV среди яков в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китая составляет от 2 до 5 % [22], что указывает на циркуляцию вируса в этих популяциях животных. В 2014 г. появились данные о циркуляции BTV в популяциях яков в Киргизии [23]. Узбекистан не предоставляет открытой информации относительно циркуляции на его территории BTV, но необходимо признать, что особенности климата этой страны оптимальны для размножения компетентных переносчиков вируса блютанга и распространения КЛЮ.

Наибольший же риск в отношении заноса инфекции на территорию нашей страны представляет импортируемый из Европы племенной скот (большой частью КРС). Именно в ЕС блютанг распространен очень широко, там ежегодно фиксируются вспышки этой инфекции, причём выявляются самые различные серотипы BTV. Благодаря Государственной программе по развитию отечественного сельского хозяйства для местных фермеров создаются благоприятные условия для завоза скота из-за рубежа (благодаря субсидиям на приобретение скота и проведение тестирования завозимого скота).

Больше всего племенного скота импортируется в нашу страну из России, но следующими после России крупными импортерами скота в РК являются Германия и Австрия, где болезнь является эндемичной. Важно, что коровы переносят инфекцию обычно бессимптомно, и при этом во многих европейских странах от блютанга прививается не только МРС, но и КРС (особенно от девятого серотипа, способного и у коров вызывать выраженные клинические проявления), поэтому серологическими методами невозможно идентифицировать инфицированных BTV животных (вакцинация штаммом одного серотипа BTV обычно не дает никакой кросс-реактивной защиты от других серотипов вируса).

В ряде стран ЕС применяются аттенуированные вакцины против BTV, что создает угрозу проникновения на территорию РК хотя бы мезогенных штаммов вируса. Распространение таких штаммов на территории страны если не приведет к серьезным экономическим потерям, то создаст немалые сложности при мониторинговых исследованиях, поскольку серологическими методами невозможно дифференцировать вакцинные мезогенные штаммы вируса от немезогенных полевых штаммов.

Больше всего племенного скота в течение последних трёх лет импортируется в Алматинскую область. Достаточно много скота также импортируется в Северо-Казахстанскую, Акмолинскую, Актюбинскую и Восточно-Казахстанскую области.

Зонирование территории РК по уровню риска распространения блютанга

Основываясь на данных о плотности поголовья восприимчивого к BTV скота, климатических параметрах, ареалах распространения компетентных и механических переносчиков вируса, количестве голов импортируемого ежегодно скота и результатах анализа риска заноса инфекции из приграничных регионов, литературных данных о выявлении серопозитивных животных, а также на данных лабораторных исследований мониторингового исследования КЛЮ на территории РК, проводимого в 2018–2020 гг. Министерством сельского хозяйства РК, в которое наша исследовательская группа была вовлечена, мы построили карту рисков распространения КЛЮ в Казахстане (рис. 3).

Следует отметить, что в последние годы в Казахстане наблюдается значительное повышение температуры воздуха (в среднем на 0,31 °C каждые 10 лет) [24]. Метеорологи заметили тенденцию изменения климата за период 1976–2021 гг. в юго-восточном Казахстане, включая: 1) тенденцию к уменьшению повторяемости морозных дней (когда суточная минимальная температура опускается ниже нуля) и дней с сильными заморозками (температура воздуха ниже –20 °C) (тенденция характерна для всей территории страны); 2) зимой, весной и летом наблюдается тенденция к увеличению количества осадков на 1,3–3,8 мм/10 лет (на остальной территории страны ситуация обратная); 3) снижается частота случаев ночных и дневных заморозков (тенденция характерна для всей территории страны); 4) увеличивается продолжительность вегетационного периода (при температуре выше 10 °C) (тенденция характерна для всей территории страны); 5) наблюдается отрицательный тренд суточной амплитуды температуры (на западе страны ситуация обратная, на остальной территории без заметных изменений) (рис. 4) [24].

Повышение температуры, смягчение климата и увеличение количества осадков в юго-восточном регионе Казахстана способствуют повышению темпов размножения, активности и выживаемости мошек *Culicoides*, скорости репликации вируса и могут усилить векторную способность мокрецов. Таким образом, инфекция может проникнуть в новые районы к северу от казахстанско-узбекской границы.

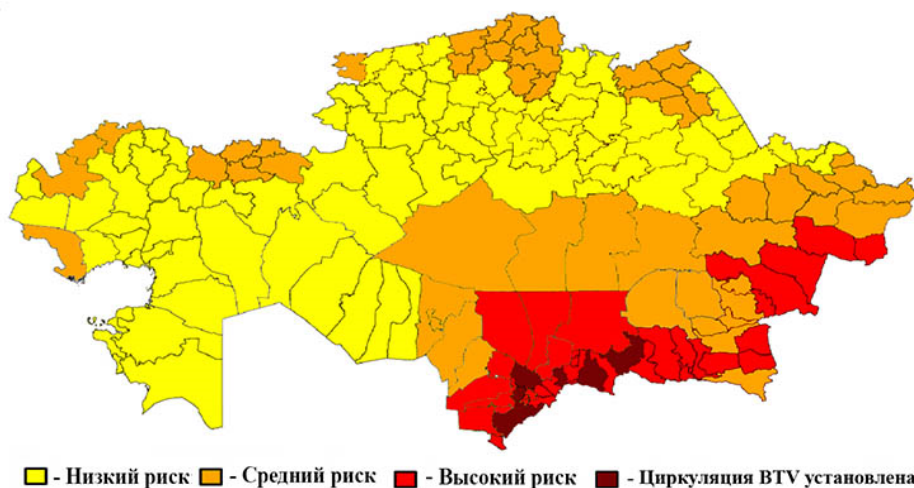
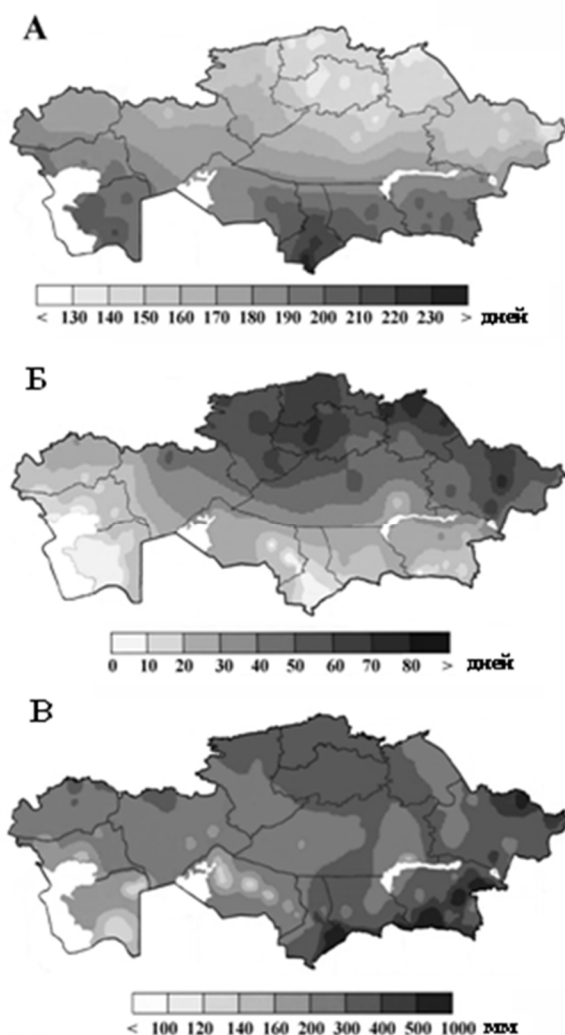


Рисунок 3. Карта рисков в отношении заноса и распространения катаральной лихорадки овец в Казахстане



A — количество дней со среднесуточной температурой выше 10 °С (TM10a-индекс);
B — количество дней с сильными заморозками (температура воздуха ниже –20 °С) (FDm20-индекс);
B — количество осадков за 2020 г.

Рисунок 4. Климатическая карта Казахстана с указанием метеорологических характеристик за 2020 г. [25]

*Определение размера выборки и сбор полевых образцов
для мониторинга катаральной лихорадки овец*

Как видно из данных, представленных на рисунке 3, наиболее рисковыми по инфекции оказались Туркестанская, Жамбылская и Алматинская области. Именно в этих областях было решено провести сбор образцов для мониторинга распространения ВТV в рамках выполнения проекта AP09259102.

Для определения общего размера выборки для проведения широкомасштабного мониторинга по КЛЮ в Казахстане общее поголовье крупного и малого рогатого скота было принято равным 33972,6 тысяч голов (на 1 января 2022 г.) [26]. Для эпидемиологических исследований доверительный интервал в подавляющем большинстве случаев принимается равным 95 %, поэтому при расчетах использовали это значение. Величину допустимой погрешности приняли равной 5 %. При расчетах полагали, что ожидаемая превалентность в популяции крупного и мелкого рогатого скота на территории Казахстана составляет 50 % (согласно рекомендациям МЭБ). Общий размер выборки составил 400 животных (в том случае, если в одной точке сбора отбирать по двадцать образцов). Исходя из результатов анализа рисков, было решено провести сбор образцов по областям, как указано в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

План по сбору образцов от крупного и мелкого рогатого скота для целей мониторинга

Область	Поголовье на 01.01.2022 г., тыс. голов	Размер выборки, голов
Туркестанская	6980,5	180
Жамбылская	4201,5	180
Алматинская	5947,3	140
Итого		500

Общее число задействованных в исследовании животных было решено увеличить до 500, чтобы обеспечить возможность отбраковки образцов (например, гемолизированных сывороток).

Заключение

В обзоре представлены результаты проведенного анализа эпизоотологической ситуации по КЛЮ на территории Казахстана, проведена эпидемиологическая оценка рисков в отношении заноса и распространения инфекции в стране, определен размер выборки для проведения мониторинга по КЛЮ и проведен сбор биологического материала от животных для целей мониторинга.

Работа выполнена в рамках гранта КН МОН РК AP09259102 «Генетическая характеристика изолятов вируса блютанга, выявляемых в Казахстане, и разработка отечественной тест-системы для их дифференциальной детекции».

Список литературы

- 1 Mertens P.P.C. Bluetongue virus diagnosis. Bluetongue. 1st ed. / P.P.C. Mertens, S. Maan, C.A. Batten, K.E. Darpel, A.R. Shaw, N.S. Maan. — London: Elsevier, Academic Press, 2009. — P. 101–125.
- 2 Sperlova A. Bluetongue: a review / A. Sperlova, D. Zendulkova // Veterinarni Medicina. — 2011. — Vol. 56, No. 9. — P. 430–452.
- 3 Lundervold M. First evidence if bluetongue virus in Kazakhstan / M. Lundervold, E.J. Milner-Gulland, C.J. O’Callaghan, C. Hamblin // Veterinary Microbiology. — 2003. — Vol. 92. — P. 281–287.
- 4 OIE — Terrestrial Animal Health Code. Infection with Bluetongue Virus / World Organisation for Animal Health. — Paris, 2019. — Vol. 2, Ch. 8.3. — P. 75017.
- 5 Koltsov A. Identification and Characterization of Bluetongue Virus Serotype 14 in Russia / A. Koltsov, S. Tsybanov, A. Gogin, D. Kolbasov, G. Koltsova // Frontiers in Veterinary. — 2020. — Vol. 7. — P. 26.
- 6 Zaher K.S. Molecular characterization of bluetongue disease / K.S. Zaher // Middle East Journal of Scientific Research. — 2015. — Vol. 23, No. 11. — P. 2689–2694.

- 7 Maan S. Development and evaluation of Real Time RT-PCR assays for detection and typing of bluetongue virus / S. Maan, N.S. Maan, M.N. Belaganahalli, A.C. Potgieter, V. Kumar, K. Batra, I.M. Wright, P.D. Kirkland, P.P.C. Mertens // PLoS ONE. — 2016. — Vol. 11, No. 9. — e0163014.
- 8 Ries C. Putative novel serotypes '33' and '35' in clinically healthy small ruminants in Mongolia expand the group of atypical BTV / C. Ries, T. Sharav, E.O. Tseren-Ochir, M. Beer, B. Hoffmann // Viruses. — 2020. — Vol. 13, No. 1. — P. 42.
- 9 Ries C. Putative Novel Atypical BTV Serotype '36' Identified in Small Ruminants in Switzerland / C. Ries, A. Vöggtlin, D. Hüsey, T. Jandt, H. Gobet, M. Hilbe, C. Burgener, L. Schweizer, S. Häfliger-Speiser, M. Beer, B. Hoffmann // Viruses. — 2021. — Vol. 13, No. 5. — P. 721.
- 10 Meiswinkel R. The taxonomy of *Culicoides* vector complexes — unfinished business / R. Meiswinkel, L.M. Gomulski, J.-C. Delecolle, M. Goffredo, G. Gasperi // Vet. Italiana. — 2004. — Vol. 40. — P. 151–159.
- 11 Luedke A.J. Preliminary bluetongue transmission with the sheep ked *Melophagus ovinus* (L.) / A.J. Luedke, M.M. Jochim, J.G. Bowne // Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Sciences. — 1965. — Vol. 29, No. 9. — P. 229–231.
- 12 Baldacchino F. Transmission of pathogens by Stomoxys flies (Diptera, Muscidae): a review / F. Baldacchino, V. Muenworn, M. Desquesnes, F. Desoli, T. Charoenviriyaphap, G. Duvallat // Parasite. — 2013. — Vol. 20, No. 26. — P. 2013026.
- 13 Hoffmann B. Monitoring of putative vectors of bluetongue virus serotype 8, Germany / B. Hoffmann, B. Bauer, Ch. Bauer, H. -J. Bätza, M. Beer, P.-H. Clausen, M. Geier, J.M. Gethmann, E. Kiel, G. Liebisch, A. Liebisch, H. Mehlhorn, G.A. Schaub, D. Werner, F.J. Conraths // Emerging Infectious Diseases. — 2009. — Vol. 15, No. 9. — P. 1481–1484.
- 14 Evermann J.F. Accidental introduction of viruses into companion animals by commercial vaccines / J.F. Evermann // Veterinary Clinics of North America. — 2008. — Vol. 38. — P. 919–929.
- 15 Miranda M.A. Bluetongue: control, surveillance and safe movement of animals / M.A. Miranda, J.A. Stegeman, D. Bicout, A. Botner, A. Butterworth, P. Calistri, K. Depner, S. Edwards, B. Garin-Bastuji, M. Good, C.G. Schmidt, et al. // EFSA Journal. — 2017. — e04698.
- 16 Rojas J.M. Diagnosing bluetongue virus in domestic ruminants: current perspectives / J.M. Rojas, D. Rodríguez-Martín, V. Martín, N. Sevilla // Veterinary medicine. — 2019. — Vol. 10. — P. 17–27.
- 17 Глухова В.М. Кровососущие мокрецы родов *Culicoides* и *Forcipomyia* (*Ceratopogonidae*) / В.М. Глухова // Фауна СССР. Насекомые двукрылые. — Т. 3, Вып. 5а. — Л.: Наука, 1989. — 408 с.
- 18 Bulatov Ye. Prevalence of Bluetongue Virus among goats, sheep, and cattle in the southern regions of Kazakhstan / Ye. Bulatov, K. Zhugunissof, D. Taranov, Zh. Amanova, Zh. Koshemetov, G. Nakhanova, G.R. Risatti, N. Sandybayev // 99th Conference of Research Workers in Animal Diseases At: Chicago Marriott, Downtown Magnificent Mile Chicago, Illinois. — 2018.
- 19 Аубакирова А.М. Фауна и экология мокрецов высокогорных пастбищ Юго-Западного Алтая / А.М. Аубакирова // Вестн. Алтай. гос. ун-та. — 2017. — Т. 10, № 154. — С. 92–95.
- 20 Yang H. Phylogenetic Characterization Genome Segment 2 of Bluetongue Virus Strains Belonging to Serotypes 5, 7 and 24 Isolated for the First Time in China during 2012 to 2014 / H. Yang, L. Xiao, J. Wang, J. Meng, M. Lv, D. Liao, J. Song, L. Gao, H. Xiong, Y. He, et al. // Transboundary Emerging Diseases. — 2016. — Vol. 64. — P. 1317–1321.
- 21 Ma J. Spatial Patterns and Risk Factors of Bluetongue Virus Infection in Inner Mongolia, China / J. Ma, X. Gao, B. Liu, J. Xiao, H. Chen, H. Wang // Vector Borne Zoonotic Diseases. — 2019. — Vol. 19. — P. 525–532.
- 22 Li J. Seroprevalence of Bluetongue virus in domestic yaks (*Bos grunniens*) in Tibetan regions of China based on circulating antibodies / J. Li, K. Li, M. Shahzad, Z. Han, F. Nabi, J. Gao, J. Han // Tropical animal health and production. — 2015. — Vol. 47, No. 6. — P. 1221–1223.
- 23 Avci O. Detection of antibodies against Blue tongue virus in yaks (*Bos grunniens*) in Issyk kul, first report / O. Avci, Y. Orhan, B. Oya, K. Mehmet, Y. Sibel, S. Atilla // J. Anim. Plant. Sci. — 2014. — Vol. 24, No. 4. — P. 1220–1223.
- 24 Жакатаева Б.Т. Тенденции изменения среднегодовой температуры воздуха на территории Казахстана / Б.Т. Жакатаева // Вопросы географии Казахстана: Тр. Каз. геогр. общ-ва. — Т. 2. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2010. — С. 21–27.
- 25 Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2021. Министерство экологии, геологии и природный ресурсов Республики Казахстан. — 2021. — 54 с. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.kazhydromet.kz/en/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
- 26 Казстат. Динамика основных социально-экономических показателей в регионах Казахстана. — 2022. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.stat.gov.kz/region>

А.В. Жигайлов, Е.О. Остапчук, Ю.В. Перфильева, Н. Абдолла,
Э.Р. Мальцева, Д.А. Найзабаева, С. Куатбекова, А. Машжан,
А.С. Низкородова, Ж.А. Бердыгулова, Ю.А. Скиба, С.М. Мамадалиев

Қазақстанда қойлардың катаральды қызбасының таралу қаупін талдау

Қазақстан қойлардың инфекциялық катаральды қызбасы (ҚКҚ) жоқ ел болып саналады. Сонымен қатар, ҚКҚ қоздыратын вирустың негізгі тасымалдаушылары болып табылатын *Culicoides* құмыты

тұқымдасының қансорғыш жәндіктері еліміздің барлық жерінде кең таралған. Қазақстанның оңтүстігінде вирус басқа елдерден әкелінген жағдайда, оның ішінде құмытылардың көбеюі үшін оңтайлы климат, малдың вирусты қабылдаудағы жоғары тығыздығы және инфекция эндемиялық болып табылатын аудандардан импортталатын асыл тұқымды малдың тұрақты ағыны ҚКҚ-ның таралуына тамаша жағдай қалыптасқан. Қазақстан аумағында ҚКҚ-ның бақылаусыз таралуы қой шаруашылығының отандық мал шаруашылығы үшін өте маңызды мәнге ие болуына байланысты орасан зор экономикалық шығындармен ұштасуы мүмкін. Бұл жағдайда экономикалық шығындар тек малдың өлуімен шектелмейді. Яғни келтірілген шығын біздің еліміздің қой етін экспорттаушы ретіндегі беделіне айтарлықтай зиян келтіруі мүмкін. Мақалада Қазақстандағы ҚКҚ бақылау бағдарламаларының маңыздылығын көрсететін ақпарат және елде осы инфекцияның таралу қаупіне эпидемиологиялық талдау жасалған.

Кілт сөздер: қойдың қатаральды қызбасы, блютанг (көк тіл) вирусы, таралу қаупі, *Culicoides*, эпидемиология, мал шаруашылығы.

A.V. Zhigailov, Y.O. Ostapchuk, Y.V. Perfilyeva, N. Abdolla,
E.R. Maltseva, D.A. Naizabayeva, S. Kuatbekova, A. Mashzhan,
A.S. Nizkorodova, Z.A. Berdygulova, Y.A. Skiba, S.M. Mamadaliyev

Risk assessment for bluetongue virus spread in Kazakhstan

Kazakhstan is considered to be free from bluetongue. At the same time, biting midges of the genus *Culicoides*, which are the main vectors of the bluetongue virus, are widespread in the country. An optimal climate for biting midge breeding, a high density of livestock susceptible to the virus, and a constant influx of imported breeding stock from areas where the infection is endemic in southern Kazakhstan cumulatively constitute favorable conditions for the spread of bluetongue in the case of virus transmission in Kazakhstan from other countries. The uncontrolled spread of this infection on the territory of Kazakhstan can be associated with colossal economic losses since sheep breeding is paramount for domestic animal husbandry. In this case, economic costs will not be limited only by the death of animals; significant damage can be caused to the image of our country as an exporter of lamb. This review provides information highlighting the importance of bluetongue control programs in Kazakhstan and an analysis of the risks of the spread of this infection in the country.

Keywords: malignant catarrhal fever, bluetongue virus, spread risk, *Culicoides*, epidemiology, livestock.

References

- 1 Mertens, P.P.C., Maan, S., Batten, C.A., Darpel, K.E., Shaw, A.R., & Maan, N.S. (2009). *Bluetongue virus diagnosis*. In: Mellor P.S., Baylis M., Mertens P.P.C. *Bluetongue*. 1st ed. London: Elsevier, Academic Press, 101–125.
- 2 Sperlova, A., & Zendulkova, D. (2011). Bluetongue: a review. *Veterinarni Medicina*, 56 (9); 430–452.
- 3 Lundervold, M., Milner-Gulland, E.J., O’Callaghan, C.J., & Hamblin, C. (2003). First evidence of bluetongue virus in Kazakhstan. *Veterinary Microbiology*, 92; 281–287.
- 4 OIE — Terrestrial Animal Health Code. (2019). *Infection with Bluetongue Virus*. Paris: World Organisation for Animal Health. Twenty-six edition, 2 (8.3); 75017.
- 5 Koltsov, A., Tsybanov, S., Gogin, A., Kolbasov, D., & Koltsova, G. (2020). Identification and Characterization of Bluetongue Virus Serotype 14 in Russia. *Frontiers in Veterinary*, 7; 26.
- 6 Zaher, K.S. (2015). Molecular characterization of bluetongue disease. *Middle East Journal of Scientific Research*, 23 (11); 2689–2694.
- 7 Maan, S., Maan, N.S., Belaganahalli, M.N., Potgieter, A.C., Kumar, V., Batra, K., Wright, I.M., Kirkland, P.D., & Mertens, P.P.C. (2016). Development and evaluation of Real Time RT-PCR assays for detection and typing of bluetongue virus. *PLoS ONE*, 11 (9); e0163014.
- 8 Ries, C., Sharav, T., Tseren-Ochir, E.O., Beer, M., & Hoffmann, B. (2020). Putative novel serotypes '33' and '35' in clinically healthy small ruminants in Mongolia expand the group of atypical BTV. *Viruses*, 13 (1); 42.
- 9 Ries, C., Vögtlin, A., Hüsey, D., Jandt, T., Gobet, H., Hilbe, M., Burgener, C., Schweizer, L., Häfliger-Speiser, S., Beer, M., & Hoffmann, B. (2021). Putative Novel Atypical BTV Serotype '36' Identified in Small Ruminants in Switzerland. *Viruses*, 13 (5); 721.
- 10 Meiswinkel, R., Gomulski, L.M., Delecolle, J. -C., Goffredo, M., & Gasperi, G. (2004). The taxonomy of *Culicoides* vector complexes — unfinished business. *Vet. Italiana*, 40; 151–159.
- 11 Luedke, A.J., Jochim, M.M., & Bowne, J.G. (1965). Preliminary bluetongue Transmission with the sheep ked *Melophagus ovinus* (L.). *Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Sciences*, 29 (9); 229–231.

- 12 Baldacchino, F., Muenworn, V., Desquesnes, M., Desoli, F., Charoenviriyaphap, T., & Duvallat, G. (2013). Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite*, 20 (26); 2013026.
- 13 Hoffmann, B., Bauer, B., Bauer, Ch., Bätza, H.-J., Beer, M., Clausen, P.-H., Geier, M., Gethmann, J.M., Kiel, E., Liebisch, G., Liebisch, A., Mehlhorn, H., Schaub, G.A., Werner, D., & Conraths, F.J. (2009). Monitoring of putative vectors of bluetongue virus serotype 8, Germany. *Emerging Infectious Diseases*, 15 (9); 1481–1484.
- 14 Evermann, J.F. (2008). Accidental introduction of viruses into companion animals by commercial vaccines. *Veterinary Clinics of North America*, 38; 919–929.
- 15 Miranda, M.A., Stegeman, J.A., Bicout, D., Botner, A., Butterworth, A., Calistri, P., Depner, K., Edwards, S., Garin-Bastuji, B., Good, M., Schmidt, C.G., Mitchel, V., More, S., Raj, M., Nielsen, S.S., Sihvonen, L., Spoolder, H., Thulke, H.H., Velarde, A., Willeberg, P., & Winckler, C. (2017). Bluetongue: control, surveillance and safe movement of animals. *EFSA Journal*, e04698.
- 16 Rojas, J.M., Rodríguez-Martín, D., Martín, V., & Sevilla, N. (2019). Diagnosing bluetongue virus in domestic ruminants: current perspectives. *Veterinary medicine*, 10; 17–27.
- 17 Glukhova, V.M. (1989). Krovososushchie mokretsy rodov *Culicoides* i *Forcipomyia* (*Ceratopogonidae*) [Blood-sucking biting midges of the genera *Culicoides* and *Forcipomyia* (*Ceratopogonidae*)]. *Fauna SSSR. Nasekomye dvukrylye — Fauna of USSR. Insects Diptera*. Leningrad: Nauka, 3 (5a); 408 [in Russian].
- 18 Bulatov Ye., Zhugunissov K., Taranov D., Amanova Zh. Koshemetov Zh., Nakhanova G., Risatti G.R., & Sandybayev, N. (2018). Prevalence of Bluetongue Virus among goats, sheep, and cattle in the southern regions of Kazakhstan. 99th *Conference of Research Workers in Animal Diseases At: Chicago Marriott, Downtown Magnificent Mile Chicago*, Illinois.
- 19 Aubakirova, A.M. (2017). Fauna i ekologiya mokretsov vysokogornyykh pastbishch Yugo-Zapadnogo Altaia [Fauna and ecology of biting midges in high-mountainous pastures of Southwestern Altai]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Altai State University*, 10 (154); 92–95 [in Russian].
- 20 Yang, H., Xiao, L., Wang, J., Meng, J., Lv, M., Liao, D., Song, J., Gao, L., Xiong, H., & He, Y. (2016). Phylogenetic Characterization Genome Segment 2 of Bluetongue Virus Strains Belonging to Serotypes 5, 7 and 24 Isolated for the First Time in China during 2012 to 2014. *Transboundary Emerging Diseases*, 64; 1317–1321.
- 21 Ma, J., Gao, X., Liu, B., Xiao, J., Chen, H., & Wang, H. (2019). Spatial Patterns and Risk Factors of Bluetongue Virus Infection in Inner Mongolia, China. *Vector Borne Zoonotic Diseases*, 19; 525–532.
- 22 Li, J., Li, K., Shahzad, M., Han, Z., Nabi, F., Gao, J., & Han, J. (2015). Seroprevalence of Bluetongue virus in domestic yaks (*Bos grunniens*) in Tibetan regions of China based on circulating antibodies. *Tropical animal health and production*, 47 (6); 1221–1223.
- 23 Avci, O., Orhan, Y., Oya, B., Mehmet, K., Sibel, Y., & Atilla, S. (2014). Detection of antibodies against Blue tongue virus in yaks (*Bos grunniens*) in Issyk kul, first report. *J Anim Plant Sci.*, 24 (4); 1220–1223.
- 24 Zhakataeva, B.T. (2010). Tendentsii izmeneniia srednegodovoi temperatury vozdukh na territorii Kazakhstana [Trends in the average air temperature in Kazakhstan]. *Voprosy geografii Kazakhstana: Trudy Kazakhskogo geograficheskogo obshchestva — Issues of Kazakhstan geography: Proceedings of the Kazakh Geographical Society*. Karaganda: Karagandinskii gosudarstvennyi universitet, 2, 21–27 [in Russian].
- 25 (2021). *Ezhegodnyi biulleten monitoringa sostoianiia i izmeneniia klimata Kazakhstana [Annual Bulletin of Monitoring of the Climate Change in Kazakhstan]*. Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the RK. Retrieved from <https://www.kazhydromet.kz/en/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazakhstan> [in Russian].
- 26 (2022). *Kazstat. Dinamika osnovnykh sotsialno-ekonomicheskikh pokazatelei v regionakh Kazakhstana. 2022. Biuro natsionalnoi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniu i reformam Respubliki Kazakhstan [Kazstat. Dynamics of the main socio-economic indicators in Kazakhstan regions]*. Statistics Agency of the Republic of Kazakhstan. Territorial bodies of the Committee on Statistics. Retrieved from <http://www.stat.gov.kz/region> [in Russian].

Ж.С. Кеишилов^{1*}, А.М. Кохметова^{1,2}, М.Т. Кумарбаева^{1,2},
Д.К. Жанузақ¹, Ш.С. Рсалиев³

¹Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты,
Алматыбақ ауылы, Қарасай ауданы, Алматы облысы, Қазақстан

*Хат-хабарларға арналған автор: Jeka-Sayko@mail.ru

Бидайдың сары тат (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) ауруына Алматы облысы бойынша 2019–2021 жылдары жүргізілген мониторингі

Сары тат (*P. striiformis* f.sp. *tritici*) әсіресе, салқын климатты жерлерде бидайдың (*Triticum aestivum* L.) маңызды ауруы болып табылады. Орталық Азия елдерінде, соның ішінде Қазақстанда сары тат ауруы бидай егіс алқаптарында аса қауіпті аурулардың бірі болып саналады. 2019–2020 жылғы зерттеулерде Алматы облысының Жамбыл, Қарасай, Талғар аудандарында *P. striiformis* патогеніне жоғарытөзімділік танытқан, ауру көрсеткіштері IT-0 иммундық көрсеткен сорттар іріктелінген. Олар бидайдың «Васса», «Наз», «Безостая-1», «Сапалы» және «Тритикале» сорттары. Фитопатологиялық бағалау жұмыстары барысында анықталғандай, Жамбыл ауданының егіс алқабындағы «Богарная 56» сортында аурудың таралуы жоғарғы деңгейде, яғни 26 %-ды көрсетті, ал залалдануы 9,90 % құрады. Талғар ауданында «Казахстанская 10» сортында аурудың таралуы 6 %, ал залалдану көрсеткіші 0,52 % болды. Қарасай ауданында сары тат ауруымен жоғарғы деңгейде залалданған «Қарасай» сорты болды, аурудың таралуы 22 %, ал залалдануы 1,04 %-ды көрсетті. Сонымен қатар, 2021 жылы жүргізілген мониторинг жұмыстары нәтижесінде барлық зерттелінген бидай сорттарынан *P. striiformis* патогенінің ешбір ауру белгілері табылмады, себебі ауа райының құрғақ және жауын шашынның, ылғалдың аз болуына байланысты ауруға төзімділігі жоғары болды. Зерттеу нәтижелерінде сары тат ауруына төзімді жаңа бидай сорттарын анықтауға, мониторинг жұмыстарын әлі де жалғастырудың қажеттілігін көрсетіп отыр. Нәтижесінде Алматы облысында бидай сорттарының басым бөлігі тат ауруларына төзімсіз екендігі анықталып отыр.

Кілт сөздер: күздік бидай, сары тат, төзімділік, сорт, фитопатология, эпифитотия, мониторинг, патоген.

Kipicne

Puccinia striiformis саңырауқұлағынан туындаған сары тат ауруы бидай өндірісіне айтарлықтай қауіп төндіреді және бидайдың өнімділігі мен сапасына әсер етеді [1; 2]. Бидай әлем халқының күнделікті өмірінде маңызы зор және 7,5 миллиардтан астам халық үшін азықтық калориялардың 21 %-ын және протеиннің 20 %-ын қамтамасыз етеді [3].

Ауылшаруашылық дақылдарына әдетте көптеген зиянкестер қауіп төндіреді және маңызды ауруларды тудыратын (мысалы, сары тат, қоңыр тат, тля) экономикалық шығындарға алып келеді [4].

Ауру қоздырғышы — *P. striiformis* West саңырауқұлағы (синоним *Puccinia glumarum* Erikss. et Henn). Қазақстанда сары таттың таралу аймағы негізінен оңтүстік өңірдің тау бөктерінде және оңтүстік-шығыс аудандарымен шектелген, мұнда кейбір жылдары күздік бидайда эпифитотиялық деңгейге дейін дамиды [5].

Республиканың орталық және солтүстік аймақтарында жаздық бидайда ауру өте сирек кездеседі. Жапырақтары мен олардың қабықтары зақымдалады, онда лимон-сары пестулар, ашық-қызғылт сары, нүктелі сызықтар мен соққылар түрінде, сондай-ақ саңырауқұлақтар урединиоспораларымен толтырылған спикелет таразылары пайда болады, нәтижесінде тұқымдар жеңіл және жұмсақ болады. Вегетация кезеңінің соңында урединио орнында телиоспоралары бар қара телия дамиды. Қазақстанда сары тат қоздырғышының аралық иесі, әлемнің басқа елдеріндегідей анықталған жоқ [5]. Бидай Орталық Азияның басты қоректену өнімі болып қалады. Статистикалық мәліметтеріне жүгінетін болсақ, жоғарыда аталған аймақ бидайды тұтыну бойынша жылына 200 кг құрап отыр. Аймақ бойынша елдерде өнімнің және астықтың тапсыру көлемі әртүрлі болып келеді. Қазақстан бидайды басты экспорттаушылардың бірі болып келеді, бірақ Тәжікстан және Қырғызстан бидай, дәнді дақылдар мен ұнның импортына қатты тәуелді [6]. Аймақта бидай өндіруде фермерлер үлкен

қиындықтарға тап болған, соның ішінде биотикалық стресс факторлардың өнімге әсері, дәнді дақылдар түсімін нашарлататын тат ауруларының даму қарқындылығын атап кету керек. Соңғы 15 жылда аймақта сары тат ауруының өнімінің шығымына әкеліп соққан бес эпифитотиясы болды [7; 8]. Сары тат ауру бидай өсірілетін аймақтарда көп кездесетіні белгілі, әлемдегі 60 елден астам, сонымен қатар Қазақстанда ең маңызды бидай ауруы болып табылады [9]. Өте сезімтал сорттарда және ауа-райының қолайлы жағдайында сары тат ауруының пайда болуы жоғары, өнімділікті 100 % дейін төмендетуі мүмкін [10]. Егіншілікте, ауылшаруашылық дақылдарының әр түрлі өсу кезеңдерінде өсімдік ауруларын уақтылы анықтау экономиканы және ауыл шаруашылығын тиімді басқару үшін өте маңызды [11].

Зерттеудің мақсаты: Алматы облысы жағдайында 2019–21 жыл аралығында, бидайдың аса қауіпті *P.striiformis* патогенінің залалдануымен таралу деңгейін анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Алматы облысы аймақтарында сары тат (*P. striiformis f.sp. tritici*) ауруының таралу деңгейін анықтау мақсатында Қарасай, Жамбыл және Талғар аудандарының шаруа қожалықтарында мониторинг жұмыстары жүргізілді. Сары тат ауруымен залалданған жапырақ үлгілерін бидайдың балауызданып сүттену кезеңінде жиналды. Джеймстің шкаласы бойынша кем дегенде 50 бидай өсімдіктерін жинап, ауруына қарап жеке-жеке талдау жасалынды [12].

Бидай өсімдіктерін жинау әдісі бойынша егіс алқабына кіріп, ортасына қарай диагональ бойымен 200 метр жүріп 50 өсімдік жиналып алынды, ауруына жеке-жеке фитопатологиялық баға беріледі. Аурудың таралуын (*P*)-мен, ал залалдануын (*R*)-мен белгіледік. Өсімдіктің ауруының таралуы мен залалдануы мына формула арқылы анықталады:

*1. *P* — аурудың таралу формуласы: $P = n * 100 / N$, мұнда *N* — сынамадағы өсімдіктердің жалпы саны; *n* — ауру өсімдіктер саны.

*2. *R* — аурудың даму қарқындылығы мына формуламен анықталады: $R = \sum ab / N$, мұнда $\sum ab$ — залалданған барлық өсімдіктердің сәйкес барлық қосындысының соммасы және оны *N*-ге бөлу керек.

Зерттеу нәтижелері мен оларды талдау

Алматы облысы егіс алқаптарының күздік бидай сорттарына 2019–21 жыл аралығында мониторинг жұмыстары жүргізілді. Бидайдың сары тат (*P. striiformis f.sp. tritici*) ауруының зияндылығы мен таралуы және фитопатологиялық бағалау жұмыстары Жамбыл, Қарасай және Талғар аудандарының шаруа қожалықтарында жүргізілді. Мониторинг маусым айының екінші он күндігінде зерттелінді. Зерттеу барысында *P.striiformis* патогенімен залалданған бидай үлгілерінен инфекциялық материалды анықтау арқылы ауруға фитопатологиялық баға берілді. Фитопатологиялық бағалау жұмыстары күздік бидайдың вегетациялық кезеңінің масақтану фазасында белгіленді. Ауа райының қолайлы болуына байланысты жүргізілген мониторинг нәтижесінде кейбір аудандарда ауру белгілері табылып отырды. Зерттеу нәтижесінде, сары тат ауруының таралуы мен залалдану деңгейі анықталынды (кесте 1–3).

Кесте 1

2019 жылғы Алматы облысының егіс алқаптарындағы сары тат (*P. striiformis f.sp. tritici*) ауруының таралуы мен залалдануына жүргізілген мониторинг нәтижелері

Шаруа қожалығы	Сорттар	Алдыңғы өсірілген дақыл	Сары тат ауруының залалдану индексі, %	
			P	R
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 48°08'379' E 076°05'457' B 1034				
а/о Қарақыстақ	«Богарная 56»	Күздік бидай	26	9.90
а/о Қарақыстақ	«Васса»	Күздік бидай	0	0
а/о Қарақыстақ	«Наз»	Күздік бидай	0	0
Облыс: Алматы; аудан: Қарасай; координаттары: N 43°10.201' E 076°27.644' B972				
а/о Алмалыбақ	«Безостая 1»	Күздік бидай	0	0
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43.398810 E 77.165308 B 681				
а/о Қарабұлақ	«Казахстанская 10»	Күздік бидай	6	0.52
а/о Қызылту	«Тритикале»	Арпа	0	0

Ескертулер: P — таралуы, R — залалдануы; а/о — ауыл округі; ш/к — шаруа қожалығы.

2020 жылы Алматы облысы Қарасай ауданы Алмалыбақ ауылының егіс алқапында сары тат (*P. striiformis* f.sp. *tritici*) ауруының таралуы мен залалдануына жүргізілген мониторинг нәтижелері

Шаруа қожалығы	Сорттар	Алдыңғы өсірілген дақыл	Сары тат ауруының залалдану индексі, %	
			P	R
Облыс: Алматы; аудан: Қарасай; координаты: N 43°14.292' E 076°41.784' B 774				
a/o Алмалыбақ	«Алмалы»	Күздік бидай	12,0	0,94
a/o Алмалыбақ	«Сапалы»	Соя	0	0
a/o Алмалыбақ	«Қызыл бидай»	Күздік бидай	16,0	1,52
a/o Алмалыбақ	«Стекловидная 24»	Күздік бидай	12,0	0,90
a/o Алмалыбақ	«Қарасай»	Арпа	22,0	1,04

Ескертулер: P — таралуы, R — залалдануы; a/o — ауыл округі; ш/к — шаруа қожалығы.

2021 жылы Алматы облысы бойынша бидайдың сары тат (*P. striiformis* f.sp. *tritici*) ауруының таралуы мен залалдануына жүргізілген мониторинг нәтижелері

Шаруа қожалығы Ауыл округі	Сорттардың атауы	Алдыңғы өсірілген дақыл	Сары таттың таралуы және залалдану индексі, %		Жер көлемі (га)
			P	R	
Облыс: Алматы; аудан: Қарасай; координаттары: N 43°14'333" E 076°41'657" B783					
a/o Алмалыбақ	«Казахстанская 10»	Арпа	0	0	40
Облыс: Алматы; аудан: Қарасай; координаттары: N 43°14'291" E 076°41'521" B786					
a/o Алмалыбақ	«Алмалы»	Соя	0	0	20
Облыс: Алматы; аудан: Қарасай; координаттары: N 43°14'168" E 076°41'376" B786					
a/o Алмалыбақ	«Қызыл бидай»	Арпа	0	0	30
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°22'690" E 077°06'304"					
a/o Панфилов	«Казахстанская 10»	Арпа	0	0	60
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°24'326" E 077°09'854"					
a/o Панфилов	«Богарная 56»	Соя	0	0	55
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°23'890" E 077°09'577"					
a/o Қарабұлақ	«Жетісу»	Арпа	0	0	80
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°24'802" E 077°12'875"					
a/o Қойшыбек	«Наз»	Сұлы	0	0	30
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°22'324" E 077°05'653"					
a/o Қызылту	«Стекловидная 24»	Арпа	0	0	60
Облыс: Алматы; аудан: Талғар; координаттары: N 43°24'718" E 077°22'115"					
a/o Есік	«Безостая 1»	Бидай	0	0	50
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°13'239" E 076°28'702"					
a/o Сауыншы	«Васса»	Сұлы	0	0	30
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°13'418" E 076°23'571"					
a/o Қарғалы	«Наз»	Сұлы	0	0	40
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°10'833" E 076°20'042"					
a/o Ұзынағаш	«Стекловидная 24»	Соя	0	0	50
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°13'282" E 076°21'046"					
a/o Ұзынағаш	«Богарная 56»	Соя	0	0	20
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°13'314" E 076°21'101"					
a/o Ұзынағаш	«Тритикале»	Соя	0	0	20
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°13'349" E 076°21'238"					
a/o Ұзынағаш	«Безостая 1»	Соя	0	0	20
Облыс: Алматы; аудан: Жамбыл; координаттары: N 43°08'264" E 076°05'377"					
a/o Қарақыстақ	«Безостая 100»	Бидай	0	0	320

Ескертулер: P — таралуы, R — залалдануы; a/o — ауыл округі; ш/к — шаруа қожалығы.

Алматы облысының Жамбыл ауданы Қарақыстақ ауылдық округінің егіс алқаптарында жүргізілген маршруттық зерттеу жұмыстары нәтижесінде *P.striiformis* патогенінің дамуы «Богарная

56» сортында 9,90 %-ды көрсетті, ал аурудың таралуы 26 %-дық төзімсіз нәтиже танытты. Сары тат ауруымен еш залалданбай жоғары төзімділік көрсеткен «Васса» және «Наз» күздік бидай сорттары анықталынды (1 сурет). Аурудың белгілері Талғар ауданы, Қарабұлақ ауылдық округінің егіс алқаптарындағы «Казахстанская 10» күздік бидай сортынан байқалды, мұнда аурудың дамуы 0,52 %-ды құрады, ал аурудың таралуы 6 %-дық нәтиже көрсетті. Сонымен, Қызыл ту және Қарасай ауылдық округтерінде бидайдың «Тритикале» және «Безостая-1» сорттары *P.striiformis* патогеніне жоғары төзімділік танытты, ауру белгілері байқалмады.

Қарасай ауданында жүргізілген зерттеулерімізде күздік бидай сорты сапалы *P. striiformis* патогенімен залалданбай, ауруға төзімділігімен ерекшеленіп, иммундылықты танытты. «Стекловидная 24» және «Алмалы» сорттарында сары тат ауруының таралу деңгейі 12,0 %-дық ауруға орташа бейімделгішті көрсетті. Сонымен қатар, бұл сорттарда аурумен залалдану индексі 0,90–0,94 % құрады. Осыған ұқсас «Қызыл бидай» сорты сары тат ауруымен 15 %-дық орта дәрежеде залалданғаны байқалды. «Қызыл бидай» сортында аурудың таралуы деңгейі 16,0 %-ды құраса, ал залалдану индексі 1,52 %-дық нәтиже көрсетті. Қарасай ауданында жүргізілген мониторинг нәтижесінде сары тат ауруымен жоғарғы деңгейде залалданған «Қарасай» сорты анықталынды, аурудың таралуы деңгейі 22 %, ал залалдануы 1,04 % көрсетті.



Сурет 1. Мониторинг жұмыстарын жүргізу барысында, зерттелінген егіс алқаптарда түсірілген сары тат (*P. striiformis* f.sp. *tritici*) ауруымен залалданған бидай үлгілерін көре аласыздар

Біздің зерттеулерімізде Қарасай, Талғар және Жамбыл аудандарындағы «Казахстанская 10», «Алмалы», «Қызыл бидай», «Богарная 56», «Жетісу», «Наз», «Стекловидная 24», «Васса», «Тритикале», «Безостая 1», «Безостая 100» бидай сорттарынан сары тат ауруының бірде-бір белгілері байқалмады. Барлық зерттелінген сорттар реакцияның IT—0 иммундық түрін көрсетті.

Сонымен, Алматы облысы бойынша жүргізілген мониторинг жұмыстары нәтижесінде барлық зерттелінген бидай сорттарынан *P.striiformis* патогенінің ешбір ауру белгілері табылмады, себебі 2021 жылы ауа райының құрғақ және жауын шашынның, ылғалдың аз болуына байланысты сорттардың ауруға төзімділігі жоғары болды.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері бойынша, Алматы облысы аймақтарында жүргізілген мониторинг жұмыстарының нәтижесінде бидайдың сары тат (*P. striiformis* f.sp. *tritici*) ауруына төзімді күздік бидай сорттары іріктелінді. 2019–2020 жылдары Алматы облысының Жамбыл, Қарасай, Талғар аудандарында *P. striiformis* патогеніне төзімділік танытқан, ауру көрсеткіштері IT—0 иммундық жоғары төзімділікті көрсеткен «Васса», «Наз», «Безостая-1», «Сапалы» және «Тритикале» сорттары

бар. Сонымен қатар 2021 жылы жүргізілген мониторинг жұмыстары нәтижесінде барлық зерттелінген бидай сорттарынан *P. striiformis* патогенінің ешбір ауру белгілері табылмады, себебі ауа райының құрғақ және жауын шашынның, ылғалдың аз болуына байланысты ауруға төзімділігі жоғары болды. Қорытындылай келе, ауруларға төзімді сорттар — астықты қорғаудың келешегі бар әдістерінің бірі, яғни оның тиімділігі ауруларға төзімділік қасиеті. Осындай жағдайда орташа төзімділікте бағалы болады. Тәжірибе нәтижелері Алматы облысындағы бидай сорттарының басым бөлігі сары тат ауруына төзімсіз екенін, сонымен қатар зерттеу жұмыстарын әліде жалғастыруды қажет екендігін көрсетеді.

Қаржыландыру

Зерттеулер «Қоңыр және сары тат қоздырғыштарының қауіптілік деңгейін және бидайдың жапырақ дақтары ауруларын анықтау және бидайдың өңделетін сұрыптарының төзімділігінің генотиптік әлеуетін анықтау үшін аурулардың даму мониторингі» жобасы бойынша Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің «Аса қауіпті ауруларды сәйкестендіру және ауыл шаруашылығы дақылдары төзімділігінің генетикалық әлеуетін арттыру үшін жоғары тиімді диагностика жүйелерін әзірлеу және енгізу» атты Бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде қаржылық қолдаудың көмегімен жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Moshou D. Automatic Detection of 'YellowRust' in Wheat Using Reflectance Measurements and Neural Networks / D. Moshou, C. Bravao, J. Westb, S. Wahlena, A. Mccartneyb, H. Ramona // Comput. Electron. Agric. — 2004. — Vol. 44. — P. 173–188.
- 2 Zheng Q. New Spectral Index for Detecting Wheat Yellow Rust Using Sentinel-2 Multispectral Imagery / Q. Zheng, W. Huang, X. Cui, Y. Shi, L. Liu // Sensors. — 2018. — Vol. 18. — P. 868.
- 3 Braun H.J. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds, CRP. (ed.). Climate Change and Crop Production, CABI / H.J. Braun, G. Atlin, T. Payne. — London: UK, 2010. — P. 115–138.
- 4 Ashourloo D. Evaluating the effect of different wheat rust disease symptoms on vegetation indices using hyperspectral measurements / D. Ashourloo, M.R. Mobasheri, A. Huete // Remote Sens. — 2014. — Vol. 6 (6). — P. 5107–5123.
- 5 Койшибаев М. Скрининг пшеницы на устойчивость к основным болезням. FAO-SEK / М. Койшибаев, В.П. Шаманин, А.И. Моргунов. — Анкара, 2014. — 64 с.
- 6 Мониторинг и обследование болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. (Отчет по Центральной Азии за 2012 год) // Субрегиональный офис FAO по Центральной Азии (FAO-SEK). — 2012. — С. 28.
- 7 Hodson D. Global cereal rust surveillance and monitoring / D. Hodson, M. Hovmoller // Abstracts of 4th Regional Yellow Rust Conference for CWANA. — 2009. — P.5.
- 8 Pett B. Wheat Diseases & Pests Observation for Selection of Resistant Varieties in Tajikistan / B. Pett, H. Muminjanov, A. Morgunov, V. Madaminov, M. Rahmatov, T. Sarkisova // Agromeridian, Theoretical and Applied Agricultural Research Journal. — 2005. — Vol. 1. — P. 83–87.
- 9 Wan A.M. Wheat stripe rust in China / A.M. Wan, X.M. Chen, Z.H. He // Aust. J. Agric. Res. — 2007. — Vol. 58. — P. 605–619.
- 10 Devadas R. Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves / R. Devadas, D.W. Lamb, S. Simpfendorfer, D. Backhouse // Precis. Agric. — 2009. — Vol. 10. — P. 459–470.
- 11 Bajwa S.G. Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance / S.G. Bajwa, J.C. Rupe, J. Mason // Remote Sens. — 2017. — Vol. 9. — P. 127.
- 12 Rees R.G. Effectiveness of incomplete resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* in wheat / R.G. Rees, G.J. Platz // Aust. J. Agric. Res. — 1989. — P. 43–48.

Ж.С. Кеишилов, А.М. Кохметова, М.Т. Кумарбаева, Д.К. Жанузак, Ш.С. Рсалиев

Мониторинг желтой ржавчины пшеницы (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) в Алматинской области, проведенный в 2019–2021 годах

Желтая ржавчина (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) относится к наиболее вредоносным заболеваниям пшеницы (*Triticum aestivum* L.), особенно, во влажном и прохладном климате. В странах Центральной Азии, в том числе и в Казахстане желтая ржавчина продолжает оставаться серьезной болезнью на посевных площадях пшеницы. В наших исследованиях 2019–2020 гг. в Алматинской области в

Жамбылском, Карасайском, Талгарском районах были отобраны сорта, обладающие высокой устойчивостью к возбудителю *striiformis*, которые проявили иммунный тип реакции «Т-0: Васса», «Наз», «Безостая-1», «Сапаль» и «Тритикале». Вместе с тем, на основании данных фитопатологического мониторинга, в Жамбылском районе наибольшее распространение болезни наблюдалось у сорта «Богарная-56», распространенность составила 26 %, а уровень зараженности равнялся 9,90 %. В Талгарском районе у сорта озимой пшеницы «Казахстан-10» распространенность болезни желтая ржавчина составила 6 %, а уровень зараженности — 0,52 %. В Карасайском районе у сорта «Карасай» выявлен высокий уровень зараженности желтой ржавчиной, распространенность болезни составила 22 %, а зараженность — 1,04 %. Кроме того, в результате проведенного мониторинга в 2021 г. были получены данные о том, что все исследованные сорта пшеницы были устойчивы к возбудителю *P.striiformis*, в связи с сухой погодой и отсутствием осадков, низкой влажностью устойчивости к заболеванию была высокой. Исследования показывают необходимость продолжения работы, основанной на поиске новых источников устойчивости к желтой ржавчине. Результаты эксперимента показывают, что в Алматинской области большая часть сортов пшеницы восприимчива к желтой ржавчине.

Ключевые слова: озимая пшеница, желтая ржавчина, устойчивость, сорт, фитопатология, эпифитотия, мониторинг, патоген.

Zh.S. Keishilov, A.M. Kokhmetova, M.T. Kumarbayeva, D.K. Zhanuzak, Sh.S. Rsaliyev

Monitoring of yellow rust (*Puccinia striiformis f.sp. tritici*) of wheat in the Almaty region conducted in 2019–2021

Yellow rust (*P. striiformis f.sp.tritici*) is an important disease of wheat (*Triticum aestivum*), especially in cool and moist weather conditions. In Central Asian countries, including Kazakhstan, yellow rust remains a serious disease in wheat crop area. In our research 2019–2020 in the Almaty region in Zhambyl, Karasai, Talgar regions, cultivars were selected, that have high resistance to the *P. striiformis* pathogen, which showed the immune type of reaction “IT — 0: Vassa”, “Naz”, “Bezostaya-1”, “Sapaly”, and “Triticale”. At the same time, based on the data of phytopathological monitoring, in the Zhambyl region, the greatest spread of the disease was observed in the cultivar “Bogarnaya 56”, the prevalence was 26%, and the level of infestation was 9.90%. In the Talgar region, in the winter wheat cultivar “Kazakhstan-10”, the prevalence of yellow rust disease was 6%, and the level of infection was 0.52%. In the Karasai region, the cultivar “Karasai” was found to have a high level of yellow rust infestation, the prevalence of the disease was 22%, and the infestation was 1.04%. In addition, as a result of the monitoring carried out in 2021, the obtained data demonstrated that all the studied wheat cultivars were resistant to the *P. striiformis* pathogen due to dry weather and lack of precipitation, low humidity resistance to the disease was high. Research shows the need for continued work to find new sources of yellow rust resistance. The results of the experiment show that most of the wheat varieties in the Almaty region are not resistant to rust diseases.

Keywords: winter wheat, yellow rust, resistance, cultivar, phytopathology, epiphytotia, monitoring, pathogen.

References

- 1 Moshou, D., Bravao, C., Westb, J., Wahlena, S., McCartneyb, A., & Ramona, H. (2004). Automatic Detection of ‘YellowRust’ in Wheat Using Reflectance Measurements and Neural Networks. *Comput. Electron. Agric.*, 44; 173–188.
- 2 Zheng, Q., Huang, W., Cui, X., Shi, Y., & Liu, L. (2018). New Spectral Index for Detecting Wheat Yellow Rust Using Sentinel-2 Multispectral Imagery. *Sensors*, 18; 868.
- 3 Braun, H.J., Atlin, G., & Payne, T. (2010). Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds, CRP. (ed.). *Climate Change and Crop Production*, CABI. London: UK, 115–138.
- 4 Ashourloo, D., Mobasheri, M.R., & Huete, A. (2014). Evaluating the effect of different wheat rust disease symptoms on vegetation indices using hyperspectral measurements. *Remote Sens.*, 6 (6); 5107–5123.
- 5 Koishybaev, M., Shamanin, V.P., & Morgunov, A.I. (2014). *Skrining pshenitsy na ustoichivost k osnovnym bolezniam [Screening of wheat on resistant to the basic diseases]* (FAO-SEK). Ankara [in Russian].
- 6 (2012). *Monitoring i obsledovanie boleznei, vreditel'ei i sornykh rastenii na posevakh zernovykh kultur. (Otchet po Tsentralnoi Azii za 2012 god) [Monitoring and survey of diseases, pests and weeds in grain crops (Central Asia Report 2012)]*. Subregionalnyi ofis FAO po Tsentralnoi Azii (FAO-SEK) — Sub-regional office of FAO in Central Asia (FAO-SEK) [in Russian].
- 7 Hodson, D., & Hovmoller, M. (2009). Global cereal rust surveillance and monitoring. *Abstracts of 4th Regional Yellow Rust Conference for CWANA*, 5.
- 8 Pett, B., Muminjanov, H., Morgunov, A., Madaminov, V., Rahmatov, M., & Sarkisova, T. (2005). Wheat Diseases & Pests Observation for Selection of Resistant Varieties in Tajikistan. *Agronomical, Theoretical and Applied Agricultural Research Journal*, 1; 83–87.

- 9 Wan, A.M., Chen, X.M., & He, Z.H. (2007). Wheat stripe rust in China. *Aust. J. Agric. Res.*, 58; 605–619.
- 10 Devadas, R., Lamb, D.W., Simpfendorfer, S., & Backhouse, D. (2019). Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precis. Agric.* 2009, 10; 459–470.
- 11 Bajwa, S.G., Rupe, J.C., & Mason, J. (2017). Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance. *Remote Sens.*, 9; 127.
- 12 Rees, R.G., & Platz, G.J. (1989). Effectiveness of incomplete resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* in wheat. *Aust. J. Agric. Res.*; 43–48.

А.Н. Мадиева*

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

Сравнительный анализ кормовой ценности сортов суданской травы в условиях Карагандинской области

В статье представлены результаты эксперимента по возделыванию трех сортов суданской травы в условиях г. Караганды. Суданская трава — теплолюбивая ценная кормовая культура, отличающейся высокой засухоустойчивостью. Возделывается для получения зеленого корма, сена, силоса. Богатый источник витаминов, протеинов, минералов. Итоги полевых опытов показали, что криоконсервация семян суданской травы положительно повлияла на продуктивность надземной массы. Превышение по показателям урожайности для сорта «Новосибирская–84» — 38,85 ц/га на сырой вес и 58,80 ц/га на сухой вес; для сорта «Ника» — на 23,55 и 41,25 ц/га соответственно; для сорта «Тугай» — 8,55 и 8,55 ц/га соответственно. Анализ кормовой ценности показал, все три сорта суданской травы показали хорошую питательность надземных органов. Сорта незначительно отличаются по накоплению крахмала, сахара, сырого протеина, золы, каротина, кальция и фосфора. Предварительные данные позволяют выделить сорт «Новосибирская–84», обладающий максимальной урожайностью, а сорт «Тугай» с максимальным накоплением элементов кормовой ценности.

Ключевые слова: кормовая ценность, суданская трава, сорт «Ника», сорт «Тугай», сорт «Новосибирская–84», полевой опыт, продуктивность, урожайность.

Введение

Текущая ситуация по глобальному изменению климата диктует необходимость поиска и введения в культуру новых засухоустойчивых культур [1].

Суданская трава (*Sorghum x drummondii* (Nees wx Steud.) Millsp. & Chase), сем. *Poaceae*) является одной из традиционных однолетних культур, отвечающей всем требованиям высокопродуктивной культуры: хорошая отавность (можно получать до 2-х укосов в год), высокая питательная ценность, засухоустойчивость и высокая урожайность зеленой массы [2]. Традиционно суданская трава используется для получения грубых (сено, сенаж) и сочных кормов (зеленая масса) [3]. По питательности и урожайности суданская трава занимает первое место среди однолетних кормовых культур. Так, в 100 кг зеленой массы содержится 19,0 кормовых единиц и 2,3 кг перевариваемого протеина [3, 4]. Способно формировать зеленую массу за короткий период — от 100 до 110 дней при урожайности травы 40–55 т/га и семенного материала — 1,5 т/га [5, 6].

В Казахстане суданскую траву успешно интродуцировали в Северном и Западном Казахстане [7, 8] с испытанием следующих сортов, как «Кинельская–100», «Новосибирская–84» и «Тугай». Однако в Центральном Казахстане данная культура ранее не исследовалась.

Цель настоящего исследования — оценить структуру урожая и кормовую ценность суданской травы в условиях г. Караганды.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись семенной материал (сортов «Ника», «Тугай» и «Новосибирская–84») и растения. Семена были представлены ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. Бараева» (пос. Шортанды). Полевые и лабораторные исследования были проведены в 2020–2021 гг. на коллекционном участке биолого-географического факультета Карагандинского университета им. академика Е.А. Букетова.

Размер делянок 15 м², повторность была 4-кратная. Почвы на участке каштановые, глинистые, слабозасоленные. Посев проводили в подзимние (3-я декада октября 2020 г.) и весенние (2-я декада мая 2021 г.) сроки. Нормы высева — 0,001 кг/м². Семена до посева хранили в 2-х вариантах: 1) бумажная тара при температуре +12 °С; 2) в сосуде Дюара в жидком азоте [9].

Уходные мероприятия следующие: полив 4–6 раз в месяц, нормы полива — до 5 л на делянку; прополка от сорной растительности, подкормка в 1-й декаде июня.

Оценку урожайности проводили в августе 2021 г. [10]. Для каждого сорта оценивали сырой и сухой вес соцветия и всей надземной массы. Скашивание зеленой массы для оценки питательной ценности проводили в фазе образования метелки, скашивание осуществляли на высоте 5–7 см от поверхности почвы.

Исследование питательной ценности надземной массы всех сортов суданской травы осуществляли на базе испытательного центра Казахского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. По вариантам опыта оценивали содержание сухого вещества, протеина, клетчатки, крахмала, каротина и другие показатели [11].

Статистическую обработку результатов проводили с применением онлайн калькулятора <https://medstatistic.ru/calculators.html>.

Результаты и их обсуждение

Анализ полевых опытов показал, что подзимние сроки посева не дали всходов. Посевы в весенние сроки оказались более эффективными, всхожесть составила 85–90 %.

Сравнение вариантов опытов с применением семян, хранившихся при разных условиях, показало, что продуктивность растений, полученных из семян после криоконсервации, оказалась выше, чем у семян, хранившихся при обычных условиях (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Продуктивность надземной массы сортов суданской травы в зависимости от способа хранения семенного материала в условиях г. Караганды

Сорт	Вариант хранения семян	Сырой вес в пересчете на одно растение, г		Сухой вес в пересчете на одно растение, г		Урожайность, ц/га	
		соцветия	надземная часть	соцветия	надземная часть	на сырой вес	на сухой вес
Новосибирская–84	При положительной температуре	$\frac{2,59 \pm 1,51}{0,29}$	$\frac{6,45 \pm 2,90}{0,56}$	$\frac{1,73 \pm 0,97}{0,19}$	$\frac{3,79 \pm 1,68}{0,32}$	96,75	56,85
	Криохраниение	$\frac{3,62 \pm 2,44}{0,65}$	$\frac{9,04 \pm 5,38}{1,44}$	$\frac{3,15 \pm 2,19}{0,57}$	$\frac{7,71 \pm 6,42}{1,66}$	135,60	115,65
Ника	При положительной температуре	$\frac{2,18 \pm 1,26}{0,24}$	$\frac{5,87 \pm 2,99}{0,57}$	$\frac{3,79 \pm 1,68}{0,32}$	$\frac{3,43 \pm 1,77}{0,34}$	88,05	51,45
	Криохраниение	$\frac{2,73 \pm 1,93}{0,34}$	$\frac{7,44 \pm 5,02}{0,87}$	$\frac{3,01 \pm 2,29}{0,40}$	$\frac{6,18 \pm 4,74}{0,84}$	111,60	92,70
Тугай	При положительной температуре	$\frac{2,22 \pm 1,64}{0,41}$	$\frac{5,33 \pm 3,98}{0,99}$	$\frac{1,78 \pm 1,18}{0,31}$	$\frac{3,67 \pm 2,38}{0,62}$	79,95	55,05
	Криохраниение	$\frac{2,29 \pm 1,85}{0,32}$	$\frac{4,76 \pm 4,08}{0,70}$	$\frac{2,25 \pm 1,80}{0,40}$	$\frac{4,24 \pm 3,88}{0,87}$	71,40	63,60

*Примечание. В числителе $M \pm m$, в знаменателе ошибка Р.

Так, для сорта «Новосибирская–84» превышение урожайности надземной массы в варианте хранения семян при положительных температурах на сырой вес составило 38,85 ц/га, на сухой вес — 58,80 ц/га; для сорта «Ника» — на 23,55 и 41,25 ц/га, соответственно; для сорта «Тугай» — 8,55 и 8,55 ц/га, соответственно. То есть для всех сортов семена после применения криоконсервации дали достоверно более высокую продуктивность и урожайность надземной массы.

Сравнение урожайности сортов показало, что максимальные значения зафиксированы у сорта «Новосибирская–84» — 115,65 ц/га в пересчете на сухой вес. Вторую позицию занимает сорт «Ника» — 92,70 кг/га в пересчете на сухой вес. Самая низкая урожайность отмечена у сорта «Тугай» — 63,60 ц/га соответственно.

Результаты оценки кормовой ценности сортов суданской травы представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2

Кормовая ценность надземной массы суданской травы сорта Тугай, выращенной из семян, хранившихся при положительных и сверх критических низких температурах

№ п/п	Наименование показателей	Хранение при положительных температурах		После криоконсервации	
		В корме натуральной влажности		В корме натуральной влажности	
		содержание, г	содержание, %	содержание, г	содержание, %
1	Сухое вещество	850	85	850	85
2	Органическое вещество	786	–	794	–
3	Влажность	150	15	150	15
4	Сырая зола	64	6,4	56	5,60
5	Сырой протеин,	113	11,3	116	11,6
6	в т.ч. перевариваемый протеин	59,07	5,91	60,64	6,06
7	Сырой жир	33	3,30	34	3,40
8	Сырая клетчатка	328	32,80	329	32,9
9	БЭВ, г в т.ч	312	31,20	315	31,5
10	Крахмал, %	1,50		0,60	
11	Сахар, %	7,55		9,50	
12	Каротин, мг	21,50		22,60	
13	Кальций, %	1,14		1,14	
14	Фосфор, %	0,32		0,29	
Питательная ценность корма					
15	Обменная энергия, МДж	7,34		7,42	
16	ЭКЕ	0,73		0,74	
17	Кормовая единица	0,48		0,49	

Таблица 3

Кормовая ценность надземной массы суданской травы сорта «Ника», выращенной из семян, хранившихся при положительных и сверхкритических низких температурах

№ п/п	Наименование показателей	Хранение при положительных температурах		После криоконсервации	
		В корме натуральной влажности		В корме натуральной влажности	
		содержание, г	содержание, %	содержание, г	содержание, %
1	Сухое вещество	850	85	850	85
2	Органическое вещество	793	–	784	–
3	Влажность	150	15	150	15
4	Сырая зола	57	5,70	66	6,60
5	Сырой протеин,	111	11,10	105	10,50
6	в т.ч. перевариваемый протеин	58,03	5,80	54,89	5,49
7	Сырой жир	33	3,30	32	3,20
8	Сырая клетчатка	328	32,80	325	32,50
9	БЭВ, г в т.ч	321	32,1	322	32,20
10	Крахмал, %	2,50		0,90	
11	Сахар, %	6,14		5,59	
12	Каротин, мг	21,60		21,60	
13	Кальций, %	1,14		1,50	
14	Фосфор, %	0,33		0,27	
Питательная ценность корма					
15	Обменная энергия, МДЖ	7,40		7,30	
16	ЭКЕ	0,74		0,73	
17	Кормовая единица	0,48		0,48	

Кормовая ценность надземной массы суданской травы сорта «Новосибирская–84», выращенной из семян, хранившихся при положительных и сверх критических низких температурах

№	Наименование показателей	Хранение при положительных температурах		После криоконсервации	
		В корме натуральной влажности		В корме натуральной влажности	
		содержание, г	содержание, %	содержание, г	содержание, %
1	Сухое вещество	850	85	850	85
2	Органическое вещество	780	–	773	–
3	Влажность	150	15	150	15
4	Сырая зола	70	7	77	7,70
5	Сырой протеин	106	10,6	99	9,90
6	в т.ч. перевариваемый протеин	55,41	5,54	51,75	5,18
7	Сырой жир	33	3,30	32	3,20
8	Сырая клетчатка	325	32,50	332	33,20
9	БЭВ, г в т.ч	316	31,60	310	31
10	Крахмал, %	1,50		1,20	
11	Сахар, %	5,50		3,97	
12	Каротин, мг	21,70		22	
13	Кальций, %	1,17		1,01	
14	Фосфор, %	0,33		0,32	
Питательная ценность корма					
15	Обменная энергия, МДЖ	7,27		7,19	
16	ЭКЕ	0,73		0,72	
17	Кормовая единица	0,47		0,46	

Результаты показали высокую питательную ценность всех трех исследуемых сортов суданской травы — от 0,46 до 0,49 кормовых единиц.

Для сорта «Тугай» не выявлено достоверной разницы между вариантами опыта по накоплению сырого протеина, жира и сырой клетчатки, фосфора и кальция. Отмечено, что в растениях, полученных из семян, хранившихся при положительных температурах, содержание крахмала оказалось в 2,5 раза выше, чем в варианте с семенами после криоконсервации. Общее содержание органических веществ оказалась выше после криоконсервации — на 8 г на 100 г надземной массы, содержание сырого протеина — на 0,3 %, в том числе перевариваемого протеина — на 0,15 %. Питательная ценность отличалась незначительно — 0,48 и 0,49 кормовых единиц.

Для сорта «Ника» по количественному содержанию протеина лучший результат получен для надземной массы, полученной из семян, хранившихся при положительной температуре — 11,10 %, в варианте после криоконсервации — 10,50 %, аналогично по количеству перевариваемого протеина — 5,80 и 5,49 % соответственно. Питательная ценность корма по вариантам опыта не отличалась и составила 0,48 кормовых единиц.

У сорта «Новосибирская–84» вариант с хранением семян при положительных температурах незначительно превышал вариант с применением криоконсервации по накоплению органических веществ, сырого и перевариваемого протеина, сырой клетчатки, сахара, каротина, кальция, питательной ценности.

Сравнение трех сортов показало, что суданская трава сорта «Ника» превышала остальные сорта по таким показателям, как накопление органических веществ, сырого жира, крахмала и каротина. У сорта «Ника» отмечено максимальное содержание сырой золы, фосфора и кальция; у сорта «Новосибирская–84» выявлено максимальное накопление сырой клетчатки. Питательная ценность между сортами отличается незначительно, то их можно применять как источник кормовых ресурсов.

Заключение

Таким образом, результаты полевых опытов продемонстрировали, что криоконсервация семян суданской травы положительно повлияла на продуктивность и урожайность растений на опытном участке в условиях г. Караганды. Растения, выращенные из семян после криоконсервации, имели бо-

лее высокие показатели продуктивности. Максимальная урожайность отмечена для сорта «Новосибирская–84».

Анализ кормовой ценности суданской травы трех сортов показал, что сорта и варианты полевого эксперимента отличаются между собой содержанием крахмала, сахара, сырого протеина, сырой золы. Лучшие результаты по накоплению кормовых элементов отмечены для сорта «Тугай». Питательная ценность между сортами и вариантами опыта отличалась не значительно.

Предварительные анализы показывают перспективность применения сорта «Новосибирская–84» для производства кормовой массы в условиях Карагандинской области.

Список литературы

- 1 Ziki S.J.L. Influence of cutting date and nitrogen fertilizer levels on growth, forage yield, and quality of sudan grass in a semiarid environment / S.J.L. Ziki, E.M.I. Zeidan, A.Y. El-Banna, E.A. Omar // International Journal of Agronomy. — 2019. — Vol. 2019. — Article ID 6972639. <https://doi.org/10.1155/2019/6972639>
- 2 Дубенок Н.Н. Технология возделывания суданской травы на сено на бурых полупустынных почвах Калмыкии / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, Е.А. Кравченко // Достижения науки и техники АПК. — 2014. — № 2. — С. 49–53.
- 3 Лаптина Ю.А. Приемы повышения продуктивности суданской травы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья / Ю.А. Лаптина, Н.А. Куликова // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса. — 2021. — № 1 (61). — С. 211–221. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-21>
- 4 Шишова Е.А. Качество зеленой массы суданской травы / Е.А. Шишова // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. — 2017. — № 2. — С. 145–151.
- 5 Капустин С.И. Продуктивность суданской травы сорта «Спутница» в степной зоне Северного Кавказа / С.И. Капустин, А.Б. Володин, А.С. Капустин // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. — 2018. — № 5. — С. 102–104.
- 6 Гайсиева Е.А. Изучение смешанных агрофитоценозов с участием суданской травы / Е.А. Гайсиева // Наука и образование. — 2019. — № 3 (56). — С. 14–19.
- 7 Nasiyev B.N. Cultivation of sudan grass in different ways of economic use of West Kazakhstan / B.N. Nasiyev, H.G. Yancheva, N.Zh. Zhaanatalapov // News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, series of agricultural science. — 2019. — Vol. 6, No. 6. — P. 38–44. <https://doi.org/10.32014/2019.2224-526X.76>
- 8 Кальяскарова А.Е. Влияние стимуляторов роста и микроудобрений на урожайность семян суданской травы и кострца безостого в условиях Северного Казахстана / А.Е. Кальяскарова, Ж.М. Алимбаева, С.К. Набиев, Ж.Ж. Омаров // Вестн. Сев.-Казахстан. гос. ун-та им. М. Козыбаева. Сер. Естеств. и сельскохозяйств. науки. — 2017. — № 2 (35). — С. 90–96.
- 9 Стрибуль Г.Ф. Действие низких температур на интенсивность начального роста и продуктивные свойства семян кукурузы и овощных культур: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г.Ф. Стрибуль. — Харьков, 1993. — 18 с.
- 10 Таланов И.П. Практикум по растениеводству / И.П. Таланов. — М.: КолосС, 2008. — 279 с.
- 11 Методические указания по оценке качества и питательной ценности кормов. — М., 2002. — 75 с.

А.Н. Мадиева

Қарағанды облысы жағдайында судан шөбі сорттарының азықтық құндылығын салыстырмалы талдау

Мақалада Қарағанды қаласының жағдайында судан шөбінің үш сортын өсіру бойынша эксперименттің нәтижелері берілген. Судан шөбі — құрғақшылыққа төзімділігімен ерекшеленетін жылу сүйгіш құнды жемшөп дақыл. Жасыл жем, шөп, сүр шөп алу үшін өсіріледі. Құрамы дәрумендерге, протеиндерге, минералдарға бай. Далалық тәжірибелердің қорытындысы судан шөбінің тұқымдарын криоконсервациялау жерүсті массасының өнімділігіне оң әсер еткенін көрсетті. Өнімділік көрсеткіші бойынша «Новосібір 84» сортының шикі салмағы – 38,85 ц/га және құрғақ салмақ 58,80 ц/га; «Ника» сорты бойынша тиісінше 23,55 және 41,25 ц/га; «Тоғай» сорты бойынша тиісінше 8,55 және 8,55 артық. Жемшөп құндылығына талдауда судан шөбінің барлық 3 сорты жерүсті мүшелерінің жақсы қоректілігін көрсетті. Сорттар крахмал, кант, шикі протеин, күл, каротин, кальций және фосфордың жиналуы бойынша шамалы ерекшеленеді. Алдын ала мәліметтер өнімділігі жоғары «Новосібір 84» сортын және азықтық құндылық элементтері барынша жинақталған «Тоғай» сортын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: жемшөп құндылығы, судан шөбі, «Ника» сорты, «Тоғай» сорты, «Новосібір–84» сорты, далалық тәжірибе, құнарлылық, өнімділік.

A.N. Madiyeva

Comparative analysis of fodder value of Sudanese herb varieties in the Karaganda region

The article presents the results of an experiment on the cultivation of three varieties of Sudanese grass in the conditions of Karaganda city. Sudanese grass is a heat-loving valuable food crop with high drought resistance. It is cultivated to produce green feed, hay, silage. It is a rich source of vitamins, proteins, minerals. The results of field experiments showed that cryopreservation of Sudanese grass seeds had a positive effect on the productivity of the aboveground mass. Excess in terms of yield indicators for the “Novosibirsk 84” variety is 38.85 c/ha for raw weight and 58.80 c/ha for dry weight; for the “Nika” variety — by 23.55 and 41.25 c/ha, respectively; for the “Tugai” variety — 8.55 and 8.55 c/ha, respectively. According to the fodder value analysis, all three varieties of Sudanese grass have good nutrition of aboveground organs. Varieties differ slightly in the accumulation of starch, sugar, raw protein, ash, carotene, calcium, and phosphorus. Preliminary data make it possible to distinguish the “Novosibirsk 84” variety with the maximum yield, and the “Tugai” variety with the maximum accumulation of elements of fodder value.

Keywords: fodder value, Sudanese grass, Nika variety, Tugai variety, Novosibirsk-84 variety, field experience, productivity, yield.

References

- 1 Ziki, S.J.L., Zeidan, E.M.I., El-Banna, A.Y., & Omar, E.A. (2019). Influence of cutting date and nitrogen fertilizer levels on growth, forage yield, and quality of sudan grass in a semiarid environment. *International Journal of Agronomy*, 2019; 6972639. <https://doi.org/10.1155/2019/6972639>
- 2 Dubenok, N.N., Borodychev, V.V., Dedova, E.B., & Kravchenko, E.A. (2014). Tekhnologiya vozdevlyvaniia sudanskoi travy na seno na burykh polupustynnykh pochvakh Kalmykii [Technology of cultivating Sudanese grass for hay on brown semi-desert soils of Kalmykia]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK — Achievements of Science and Technology of AIC*, 2; 49–53 [in Russian].
- 3 Laptina, Yu.A., & Kulikova, N.A. (2021). Priemy povysheniia produktivnosti sudanskoi travy v suchostepnoi zone Nizhnego Povolzhia [Techniques for increasing the productivity of Sudanese grass in the dry-steppe zone of the Lower Volga region]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa — Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex*, 1 (61); 211–221 [in Russian]. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-21>
- 4 Shishova, E.A. (2017). Kachestvo zelenoi massy sudanskoi travy [Quality of the green mass of Sudanese grass]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie — Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and high professional education*, 2; 145–151 [in Russian].
- 5 Kapustin, S.I., Volodin, A.B., & Kapustin, A.S. (2018). Produktivnost sudanskoi travy sorta Sputnitsa v stepnoi zone Severnogo Kavkaza [Productivity of Sudanese grass of satellite variety in the steppe zone of the North Caucasus]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — News of Orenburg State Agrarian University*, 5; 102–104 [in Russian].
- 6 Gaisieva, E.A. (2019). Izuchenie smeshannykh agrofytotsenozov s uchastiem sudanskoi travy [Study of mixed agrophytocenoses involving Sudanese herb]. *Nauka i obrazovanie — Science and Education*, 3 (56); 14–19 [in Russian].
- 7 Nasiyev, B.N., Yancheva, H.G., & Zhaanatalapov, N.Zh. (2019). Cultivation of sudan grass in different ways of economic use of West Kazakhstan. *News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, series of Agricultural Science*, 6 (6); 38–44. <https://doi.org/10.32014/2019.2224-526X.76>
- 8 Kaliaskarova, A.E., Alimbaeva, Zh.M., Nabiev, S.K., & Omarov, Zh.Zh. (2017). Vliianie stimulatorov rosta i mikroudobrenii na urozhainost semian sudanskoi travy i kostretsa bezostogo v usloviiakh Severnogo Kazakhstana [Effect of growth stimulants and micro-fertilizers on the yield of seeds of Sudanese grass and boneless bone in the conditions of Northern Kazakhstan]. *Vestnik Severo-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo universiteta imeni M. Kozybaeva. Seriya Estestvennye i selskokhoziaistvennye nauki — Bulletin of North Kazakhstan State University named after M. Kozybaev. Series of Natural and Agricultural Sciences*, 2(35); 90–96 [in Russian].
- 9 Stribul, G.F. (1993). *Deistvie nizkikh temperatur na intensivnost nachalnogo rosta i produktivnye svoistva semian kukuruzy i ovoshchnykh kultur [Effect of low temperatures on the intensity of initial growth and productive properties of corn seeds and vegetable crops]. Extended abstract of candidate's thesis. Kharkov [in Russian].*
- 10 Talanov, I.P. (2008). *Praktikum po rastenievodstvu [Crop Production Workshop]. Moscow: KolosS [in Russian].*
- 11 (2002). *Metodicheskie ukazaniia po otsenke kachestva i pitatelnoi tsennosti kormov [Guidelines for Assessing Feed Quality and Nutritional Value]. Moscow [in Russian].*

Р.У. Мамыкова^{1*}, Г.Т. Джамалова², А.Е. Битемирова¹,
Ж.В. Акинбекова¹, Ж.Е. Орынбай¹

¹Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Шымкент, Казахстан;

²Назарбаев Интеллектуальная школа химико-биологического направления, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: roza.tatykova@mail.ru

Анатомическое строение язычкового цветка *Echinacea purpurea* (L.) Moench

В статье приведены результаты научных исследований по определению анатомического строения язычкового цветка *Echinacea purpurea* (L.) Moench, интродуцированного в условиях юга Казахстана. Для приготовления микропрепарата были взяты язычковые цветки растения, они пурпуровые, 2,5–6 см длины, внутренние 4 мм длины. Пленки цветоложа ланцетно-шиловидные, 1–1,5 см длины, 1–1,5 мм ширины, с прямой колючей верхушкой. Ранее нами были изучено анатомическое строение листа, стебля и корня эхинацеи пурпурной. Цель исследования — изучение анатомического строения язычкового цветка *E. purpurea* с выявлением характерных для данного вида диагностических признаков, необходимых для разработки эффективных и малотоксичных отечественных препаратов. Для полной диагностики лекарственного растительного сырья приведены сведения об анатомических особенностях генеративных органов исследуемого вида, которые можно видеть на микрофотографиях, сделанных компьютерной микрофотонасадкой. Выявлены следующие анатомические признаки, необходимые для идентификации сырья, т.е. это диагностические признаки, по которым органы растений можно отличить от аналогичных органов другого растения: очертание клеток верхней эпидермы прямоелинейное, проекция их многоугольная, на нижней оно слабоизвилистое; устьица непогруженные, аномоцитного типа; строение мезофилла язычкового цветка — аэренхимное с хорошо выраженными межклетниками из лакуны; наличие пластинчатой колленхимы под абаксиальной эпидермой; проводящие пучки закрытые коллатеральные; расположение схизогенного типа секреторных вместилищ над проводящими пучками.

Ключевые слова: лекарственные растения, идентификация, язычковые цветки, анатомия, эпидерма, устьица, паренхима, проводящие пучки.

Введение

В настоящее время человечество во всем мире страдает от бурного роста и распространения вирусных заболеваний, уже известные виды вирусов мутируют, и организм человека не справляется с неизвестными агентами. Именно люди со слабым иммунитетом и множеством сопутствующих болезней очень тяжело переносят инфекцию, увеличиваются летальные случаи. В связи с этим значительно повысился спрос на лечебные препараты, которые укрепляют и повышают иммунитет человека.

В этом отношении на сегодняшний день самым популярным лекарственным растением является эхинацея пурпурная, препараты которой усиливают защитные функции органов и тканей за счет стимуляции воспроизводства иммунных клеток. Эхинацею пурпурную для лечебных целей начали использовать еще в XVIII в., это растение было завезено в Европу в XIX в., а в XX в. — в страны СНГ. У нас в Казахстане ее выращивают с конца XX века [1].

В роде Эхинацея насчитывается 5 видов, 2 из которых в диком виде произрастают в Мексике, а 3 — в Северной Америке. Эхинацея пурпурная изначально была описана К. Линнеем в 1753 г. вначале под названием Рудбекия пурпурная — *Rudbeckia purpurea* L. В 1794 г. К. Moench выделил эхинацею в отдельный род, используя в качестве отличительных признаков наличие пурпурных или малиновых цветков, жестких колючих, шиловидно-заостренных прицветников. Название «эхинацея» произошло от слова «echinos» — «колючий». В медицине используются 3 вида: *Echinacea purpurea* (L.) Moench, *E. pallida* (L.) (Nutt) и *E. angustifolia* (L.) Dc., относящиеся к обширному семейству *Asteraceae*. Дикорастущий вид эхинацеи пурпурной растет в Северной Америке, там она встречается в субтропической зоне, в смешанных и в лиственных лесах, на равнинах и горах [2].

Лекарственным сырьем являются все органы растений. Выращиванием эхинацеи пурпурной для заготовки больших запасов лекарственного растительного сырья занимаются на Украине и Северном Кавказе зональные опытные станции ВИЛАР, а также в Самарской и Белгородской областях [3].

Лечебное действие эхинацеи пурпурной связано с наличием в корнях и в траве многих биологически активных органических веществ, в частности, полисахаридов, алколоидов, глюкозы, инулина, сапонинов, микроэлементов. Содержание эфирных масел незначительно: в надземных органах (от 0,05 до 0,15 %, в подземных органах — 0,20 % [4].

Кроме этого, установлено, что эхинацея пурпурная содержит большое количество незаменимых аминокислот, входящих в состав белка, причем их количество равноценно с такими культурами, как горох, люцерна и вика, и поэтому ее выращивают в кормопроизводстве в качестве фитодобавки [5]. Благодаря долгому периоду цветения *Echinacea purpurea* перспективна как медонос при поздних сроках взятка.

Наличие в эхинацее макро- и микроэлементов способствует высокому проявлению иммуностимулирующей активности. В настоящее время учеными установлено, что такие микроэлементы, как литий, цинк, селен, марганец, кобальт, железо нормализуют функции иммунной системы. А именно эхинацея как раз богата этими элементами, причем особо важные три элемента, такие как цинк, кобальт и селен накапливаются во всех органах данного растения одновременно [6].

В настоящее время в научной медицине применяются более 50 препаратов эхинацеи, они преимущественно зарубежного производства. В связи с этим разработка отечественных иммуностимулирующих препаратов на основе эхинацеи стала актуальной задачей в области биологии, фармации и медицины. В народной медицине из сырья эхинацеи получают для внутреннего применения: различные как водные настои, так и отвары, спиртовые настойки, для наружного применения: мази, целебные масла, кремы [7].

Таким образом, лекарственные растения рода эхинацея являются объектами для комплексного всестороннего изучения в области биологии, агрономии, фармации с целью создания препаратов с иммуномоделирующей активностью.

Морфогенез по фазам онтогенеза *Echinacea purpurea* был изучен В.И. Меньшовой на Украине [8]. В условиях Среднего Урала морфобиологическая характеристика и биология цветения эхинацеи пурпурной и узколистной впервые изучены Е.С. Васфиловой, особенности водного режима — О.А. Ильинским [9, 10]. В предгорной зоне Заилийского Алатау рассмотрено индивидуальное развитие эхинацеи пурпурной в культуре [11].

На сегодняшний день трава эхинацеи пурпурной культивируется на ООО «Biritminvest» в Узбекистане.

Изучены морфологические особенности и разработаны агротехнические способы выращивания эхинацеи пурпурной в предгорной зоне юга Казахстана, что позволяет рассматривать возможность использования культурных зарослей в качестве сырьевой базы для фармацевтической промышленности.

Установлено, что в условиях Южного Казахстана *E. purpurea* отличается высокой семенной продуктивностью, дает большой урожай сырья и, являясь перспективным лекарственным растением, выращивается в Сайрамском районе Туркестанской области в крестьянском хозяйстве Тажимахамат. Результаты научных исследований были внедрены в производство при создании различных лечебных напитков в АО «ВИЗИТ» [1].

Весьма важным моментом на пути обеспечения лекарственным растительным сырьем является обеспечение их качества, эффективности и безопасности на благо здоровья населения. С этой целью необходимо проводить микроскопию лекарственно-растительного сырья.

Микроскопический анализ — это самый необходимый метод для определения доброкачественности измельченного лекарственного сырья — резанного (дробленного), порошкообразного, в брикетах и других формах. Данный анализ основывается на использовании знаний структурных признаков растений для того, чтобы определить, как адаптационные признаки, проявляющиеся при интродукции растений, а также диагностические признаки, по которым можно определить анатомическое строение различных органов, необходимы для идентификации сырья [12].

Как известно, часть анатомических и морфологических признаков фенотипически изменчива. В определенных условиях произрастания они могут быть выражены или отсутствовать (опушение, окраска листьев, выраженность шипов, количество железок и т.д.). В связи с этим важно для официальных видов установить константные признаки, способствующие четкому диагностированию сырья [13].

Ряд авторов изучали анатомическое строение травы эхинацеи пурпурной. В частности, с использованием цифровой микроскопии в сравнительном плане изучены особенности анатомического строе-

ния листьев, язычковых и трубчатых цветков, плодов (так как небольшое их количество может присутствовать в сырье), стеблей эхинацеи пурпурной в Самарской области [14].

Проведено морфолого-анатомическое изучение надземных органов (лист, черешок, стебель) эхинацеи пурпурной, культивируемой в Узбекистане в Ташкентской области [15].

Ранее нами был проведен микроскопический анализ корневой и побеговой системы эхинацеи пурпурной, диагностическими признаками послужили длинные многоклеточные трихомы листа с шипиками, дорсивентральный с I-м рядом палисадной паренхимы мезофилл листа с крупными друзами в центре, стебель с участками колленхимы, чередующимися с хлорофиллоносной паренхимой. В корне — расположение проводящих пучков прерывистыми и сплошными кругами, разделенных тангентальной паренхимой [16]. Анатомическое строение генеративных органов не изучено.

В связи с этим, для полной диагностики лекарственного растительного сырья впервые в Казахстане проведены исследования анатомического строения генеративных органов, в частности, язычковых цветков эхинацеи пурпурной. Поэтому проводимые нами исследования являются актуальными.

Методы и материалы

В Назарбаев Интеллектуальной школе химико-биологического направления создан Научно-производственный учебный центр, где проводили исследования растений рода *Echinaceae*.

Объектом исследования послужили язычковые цветки *Echinacea purpurea*, собранные в период активного цветения, — июль 2021 г.

Микроскопические признаки язычковых цветков *E. purpurea* устанавливали в соответствии требованиями фармакопейных статей «Методы анализа растительного сырья», «Техника микроскопического и микроскопического исследования лекарственного растительного сырья» ГФ РК [17]. Для сохранности волосков эпидермиса исследуемого объекта некоторые положения были изменены, в частности, мы не проводили кипячение сырья в растворе едкого натрия.

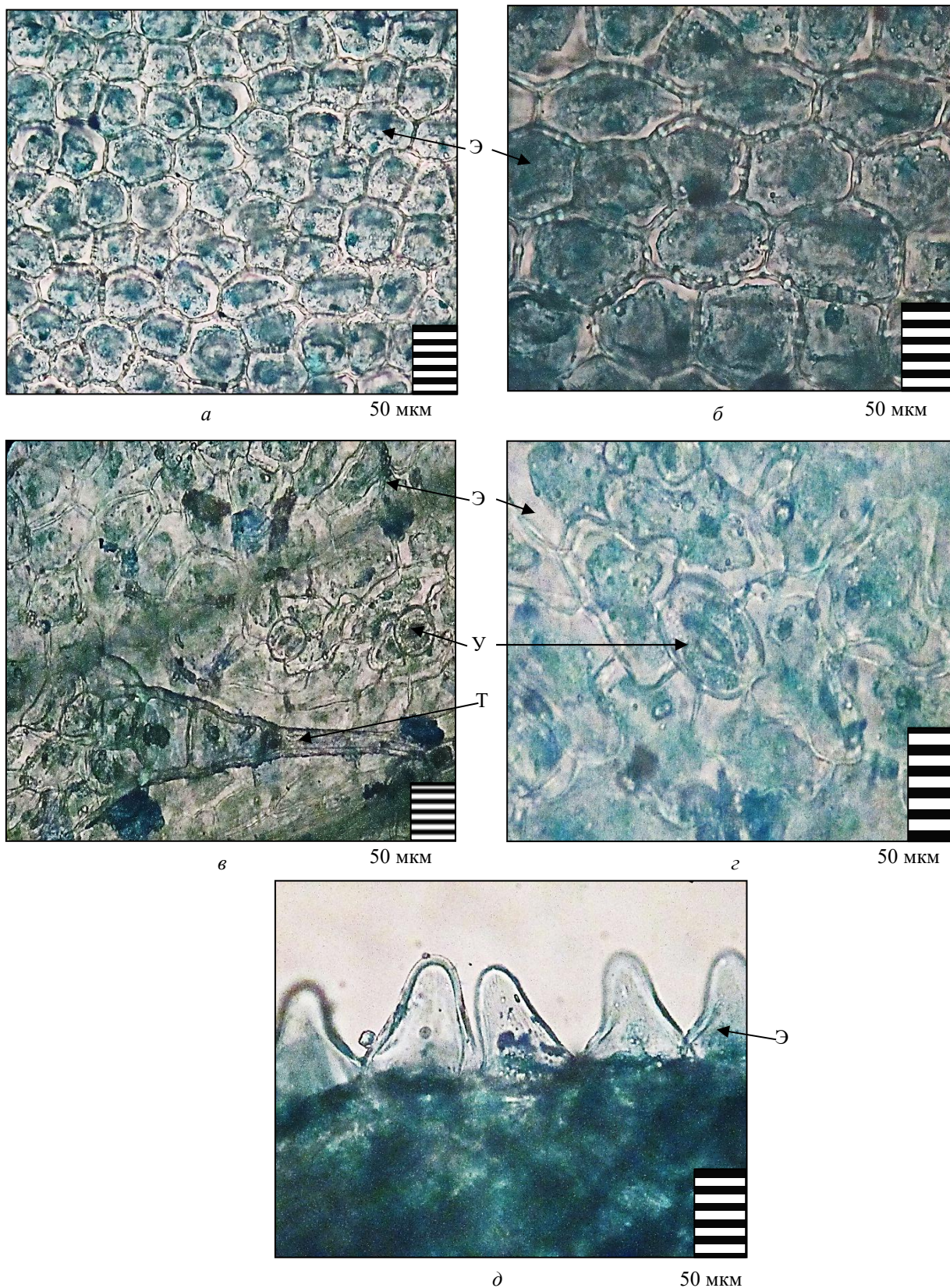
Одновременно с морфологическим описанием был проведен метод фиксирования генеративных органов опытных образцов в 70 %-ном этиловом спирте с целью детального изучения анатомических параметров. Микропрепарат был изготовлен следующим образом: в фарфоровой чашке измельчили собранные язычковые цветки. Для просветления сырье кипятили, предварительно залив дистиллированной водой, затем, отлив воду, экспериментальные образцы настаивались на спирто-глицериновой смеси, взятой в равном соотношении. Непосредственно этап микропрепарирования проводился с выбора опытного образца небольших размеров, на предметное стекло предварительно капаем воду или глицерин, помещаем объект, накрываем его покровным стеклом и смотрим под микроскопом при малом и большом увеличении. Изучение проводили на двух срезах: парадермальных и поперечных. Поперечные срезы были сделаны через середину. Окрашенный метиленовой синью препарат заклеивали в глицерин-желатину [17].

Результаты и обсуждение

В ходе исследований изучаемых опытных образцов были идентифицированы следующие морфологические характеристики: во-первых, краевые язычковые цветки, имеющие двух-трехзубчатый отгиб, пестичные, бесплодные 2,5–6 см длины, а внутренние — 4 мм, снаружи опушенные, во-вторых, длина и ширина пленки цветоложа 1–1,5 см, форма ланцетно-шиловидная, с прямой колючей верхушкой. В сухом виде цвет сырья не меняется, он остается пурпурным.

На парадермальном срезе очертание клеток, как нижней (абаксальной), так и верхней (адаксальной) эпидермы, прямолинейное. Проекция многоугольная на адаксиальном строении, имеет волнистую форму — на абаксиальном. Клетки адаксиальной эпидермы намного крупнее, чем абаксиальной (рис. 1). Эпидермальные клетки хлорофиллоносные, заполнены различными веществами. На абаксиальной стороне эпидермы встречаются простые длинные, 1–3-х клеточные трихомы.

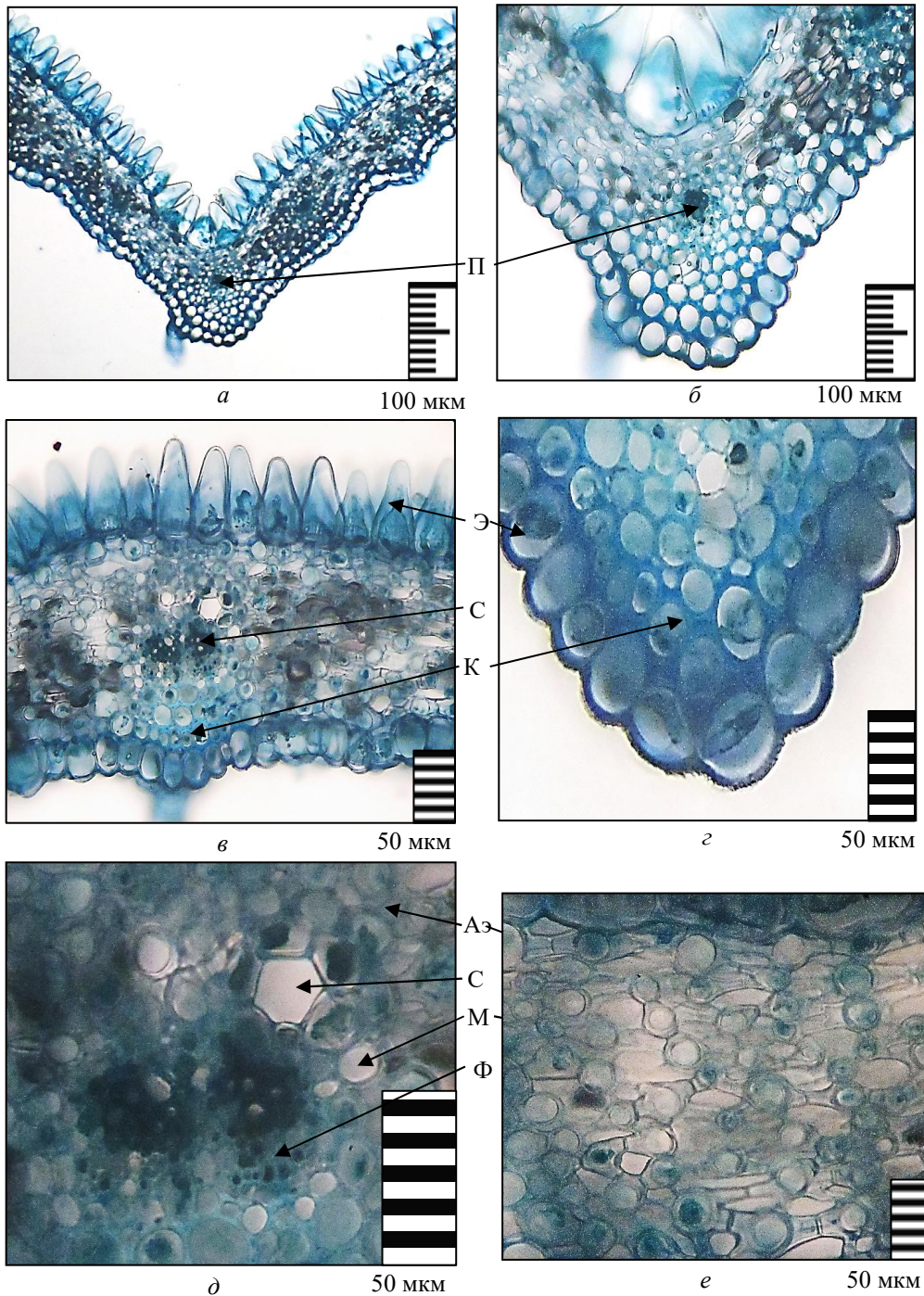
На эпидерме встречаются устьица, они овальной формы и расположены поперечно к продольной оси листа. Замыкающие клетки устьиц непогруженные и встречаются редко только на абаксиальной стороне эпидермы. Устьица непогруженные, одинаковой длины, вокруг которых видны 4–6 околоустьичных клеток, т.е. аномоцитный тип (рис. 1).



a-б-д — адаксиальная эпидерма; *в-г* — абаксиальная эпидерма; *д* — конусовидные сосочки эпидермы;
Э — эпидерма; У — устьица; Т — трихома

Рисунок 1. Строение эпидермы язычкового цветка *Echinacea purpurea*

На поперечном срезе мезофилла язычкового цветка эпидермис покрыт складчатой кутикулой. Клетки адаксиальной эпидермы в виде конусовидных сосочков. Клетки абаксиальной эпидермы мелкие, округлые (рис. 2).



a — общий вид мезофилла язычкового цветка на поперечном срезе; *б* — главная жилка; *в* — деталь; *г* — эпидерма и пластинчатая колленхима; *д* — проводящие пучки и секреторные вместилища; *е* — аэренхима с ветвистыми клетками и хорошо выраженными межклетниками из лакуны; *Аэ* — аэренхима; *КЛ* — колленхима; *МК* — межклетники; *ПП* — проводящий пучок; *СВ* — секреторные вместилища; *СД* — сосуды; *Ф* — флоэма; *Э* — эпидерма

Рисунок 2. Строение мезофилла язычкового цветка *E. purpurea*

Под адаксиальной и надабаксиальной эпидермой расположена паренхимная ткань — аэренхима с ветвистыми клетками и хорошо выраженными межклетниками из лакуны, которые состоят из 7–8 рядов. Между проводящими пучками и аэренхимной клеткой расположены секреторные вместилища схизогенного типа, которые имеют эпителиальные клетки. Секреторные вместилища крупные, они состоят из 5–6 эпителиальных клеток.

Проводящая система представлена коллатеральными закрытыми пучками, они многочисленные, с 6–10 сосудами. Причем главная жилка язычкового цветка на поперечном срезе паренхимная, и она выдается на нижней стороне эпидермы, под которой имеется механическая ткань в виде пластинчатой 2–3 рядной колленхимы, придающая устойчивость цветку.

Заключение

В результате изучения анатомического строения язычкового цветка эхинацеи пурпурной были выявлены следующие диагностические признаки: очертание клеток как нижней, так и верхней эпидермы прямолинейное. Проекция многоугольная на адаксиальном строении, имеет волнистую форму — на абаксиальном, устьица непогруженные, аномоцитного типа, строение мезофилла язычкового цветка — аэренхимное с хорошо выраженными межклетниками из лакуны; наличие пластинчатой колленхимы под абаксиальной эпидермой; проводящие пучки закрытые коллатеральные; расположение схизогенного типа секреторных вместилищ над проводящими пучками. В связи с этим мы считаем, что выявленные признаки в анатомическом строении исследуемых образцов *E. purpurea* могут быть рекомендованы с практической целью для идентификации лекарственного растительного сырья.

Выводы:

1. Впервые проведено морфолого-анатомическое изучение язычковых цветков *E. purpurea*, культивируемых на юге Казахстана.
2. В результате исследования выявлены диагностически значимые признаки цветка *E. purpurea*, имеющего фармацевтическую ценность.
3. Полученные результаты могут быть применены для дополнения статьи «Микроскопия сырья Эхинацеи пурпурной» в Государственной фармакопее РК.

Список литературы

- 1 Мамыкова Р.У. Интродукция лекарственных растений в предгорной зоне юга Казахстана / Р.У. Мамыкова. — Шымкент: Элем, 2018. — С. 43–169.
- 2 Токарева Н. Панацея по имени эхинацея / Н. Токарева // Экология и жизнь. — 2002. — № 2. — С. 75, 76.
- 3 Порада А.А. Изучение видов рода эхинацея в условиях лесостепи Украины / А.А. Порада, Т.Н. Порада // С эхинацей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф. — Полтава, 2003. — С. 69–73.
- 4 Gerhensjn J. Phytochemical Adaptations to Stress / J. Gerhensjn. — NewYork, 1984. — P. 273–302.
- 5 Архипенко Ф.М. Нетрадиционные кормовые культуры в ветеринарной медицине / Ф.М. Архипенко, В.Я. Плахотшок, О.В. Павлюк // Интродукция питательных и кормовых растений: материалы научн. конф. — Киев, 1994. — С. 19–21.
- 6 Burger R.A. *Echinacea* induced cytokine production, by human macrophages / R.A. Burger, A.R. Torres // Int. Immunopharmacol. — 1997. — P. 371.
- 7 Бизунок Н.А. Фармакологические свойства эхинацеи / Н.А. Бизунок // Рецепт. — 2008. — № 5 (61). — С. 42–49.
- 8 Меньшова В.А. Биология цветения и плодоношения интродуцированных на Украине видов рода Эхинацея / В.А. Меньшова // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. — М.: Наука, 1989. — Т. 16. — С. 53–55.
- 9 Васфилова Е.С. Онтогенез *Echinacea purpurea* (L.) Moench в Средний Урал / Е.С. Васфилова // Растит. ресурсы. — 2000. — Т. 10, Вып. 2. — С. 38–44.
- 10 Ильинский О.А. Особенности динамики водного режима *Echinacea purpurea* (L.) Moench / О.А. Ильинский // Бюлл. ГБС. — 2004. — Вып. 186. — С. 233–241.
- 11 Сапарбаева Н.А. Жизненный цикл Эхинацеи пурпурной / Н.А. Сапарбаева // Докл. НАН Республики Казахстан. — 2010. — № 5. — С. 64–68.
- 12 Xian-Quo G. Analysis of alkamides in roots and achenes of *Echinacea purpurea* by liquid chromatography-electrospray mass spectrometry / G. Xian-Quo, L.-L. Ze, B. Manthew, W. Lian Li-Ghi // J. Chromatography. — 1998. — Vol. 815. — P. 205–211.
- 13 Proksh A. Structural analysis of a 4-o-methylglucuronoarabino(ylan) with immunostimulating activity from *Echinacea Purpurea* / A. Proksh, H. Wagner // Phytochem. — 1987. — Vol. 26, No. 7. — P. 1989–1993.

14 Куркин В.И. Анатомическое и морфологическое изучение травы эхинацеи пурпурной с помощью цифровой микроскопии / В.И. Куркин, А.С. Чепурнова, В.М. Рыжов, Л.В. Тарасенко, Г.Н. Суворова, Е.В. Авдеева // Фармация. — 2009. — № 2 (7). — С. 15–18.

15 Дусчанова Г.М. Структурные особенности вегетативных органов *Echinacea purpurea* (L.) Moench в условиях интродукции / Г.М. Дусчанова, Н.К. Олимов, А.А. Мухитдинов, М.М. Курбонова // Фармацевт. журн. — 2017. — № 3. — С. 28–32.

16 Мамыкова Р.У. *Echinacea purpurea* (L.) Moench вегетативтік мүшелерінің анатомиялық ерекшеліктері / Р.У. Мамыкова // Хабаршы. — 2014. — № 2 (99). — Р. 287–290.

17 Государственная фармакопея Республики Казахстан. — Алматы: Жибек жолы, 2008. — Т.1. — С. 563–564.

18 Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике (основы и методы) / Р.П. Барыкина, Т.Д. Веселова, А.Г. Девятов. — М.: Изд. Моск. гос. ун-та, 2004. — С. 66–68.

Р.У. Мамыкова, Г.Т. Джамалова, А.Е. Битемирова,
Ж.В. Акинбекова, Ж.Е. Орынбай

***Echinacea purpurea* (L.) Moench өсімдігінің тілше гүлінің анатомиялық құрылысы**

Мақалада Қазақстанның оңтүстігінің жағдайына жерсіндірілген *Echinacea purpurea* (L.) Moench тілше гүлінің анатомиялық құрылымын анықтау бойынша ғылыми зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Микропрепаратты дайындау үшін өсімдіктің тілше гүлдері алынды, олар қызылкүрең, ұзындығы 2,5–6 см, ішкі ұзындығы 4 мм. Гүл табанының пленкалары қандауыр-бізтәрізді, тікұшты тікенекті, ұзындығы 1–1,5 см, ені 1–1,5 мм. Бұдан бұрын күңгірт қызылкүрең өсімдігінің жапырағы, сабағы және тамырының анатомиялық құрылымы зерттелген. Зерттеудің мақсаты — тиімді және азуытты отандық препараттарды жасауға қажетті осы түрге тән диагностикалық белгілерді анықтау мақсатында *E. Purpurea* тілше гүлінің анатомиялық құрылымын зерттеу. Дәрілік өсімдік шикізатын толық диагностикалау үшін зерттелетін түрдің генеративті мүшелерінің анатомиялық ерекшеліктері туралы мәліметтер келтірілген, оларды компьютерлік микрофотоқондырғымен жасалған микрофотосуреттерден көруге болады. Шикізатты идентификациялау үшін қажетті мына анатомиялық белгілер анықталды, яғни бұл өсімдік мүшелерін басқа өсімдіктің ұқсас мүшелерінен ажыратуға болатын диагностикалық белгілер: жоғарғы эпидерма жасушаларының сызығы түзу сызықты, олардың проекциясы көпбұрышты, төменгі жағында аздап қиғаш; тыныс саңылауы бітелмеген, аномоцитті типте; тілше гүлінің мезофилінің құрылымы – саңылаумен жақсы анықталған жасушааралық аэринхималық; абаксиалды эпидерманың астында қатпарлы колленхиманың бар болуы; жабық жанама өткізгіш шоқтар; өткізгіш шоқтардың үстіндегі түзінділер орны схизогендік түрде орналасқан.

Кілт сөздер: дәрілік өсімдіктер, идентификация, тілше гүлдері, анатомия, эпидерма, тыныс саңылаулары, паренхима, өткізгіш шоқтар.

R.U. Mamykova, G.T. Jamalova, A.E. Bitemirova,
Zh.V. Akinbekova, Zh.E. Orynbay

Anatomical structure of the reed flower *Echinacea purpurea* (L.) Moench

The article presents the results of scientific research on the determination of the anatomical structure of the reed flower *Echinacea purpurea* (L.) Moench introduced in South Kazakhstan. To prepare the micropreparation, the lingual flowers of the plant were taken; they are purple, 2.5–6 cm long, inner 4 mm long. The films of the flower are lanceolate awl-shaped, 1–1.5 cm long, 1–1.5 mm wide, with a straight prickly tip. Previously, the anatomical structure of the leaf, stem and root of *Echinacea purpurea* were studied. The purpose of the study is to examine the anatomical structure of the lingual flower of *E. Purpurea* to identify diagnostic signs characteristic of this type, necessary for the development of effective and low-toxic domestic drugs. Information about the anatomical features of the generative organs of the studied species is given for a complete diagnosis of medicinal plant raw materials, which can be seen in microphotographs taken by a computer microphotometer. The following anatomical features necessary for the identification of raw materials have been identified, i.e., signs by which the studied object can be distinguished from similar parts of another plant: the outline of epidermal cells on the adaxial structure is rectilinear, the projection is polygonal, on the abaxial — weakly branched; stomata are not submerged, anomocytic type; the structure of the mesophyll of the lingual flower is aerenchyma with well-defined intercellular lacunae; the presence of lamellar collenchyma under the abaxial epidermis; conducting bundles are closed collateral; the location of schizogenic secretory receptacles above conducting bundles.

Keywords: medicinal plants, identification, lingual flowers, anatomy, epidermis, stomata, parenchyma, conducting bundles.

References

- 1 Mamykova, R.U. (2018). *Introduktsiia lekarstvennykh rastenii v predgornoi zone yuga Kazakhstana [Introduction of medicinal plants in pre-mountain zone of south of Kazakhstan]*. Shymkent: Alem [in Russian].
- 2 Tokareva, N. (2002). Panatseia po imeni ekhinatseia [Panacea by name Echinacea]. *Ekologiya i zhizn — Ecology and Life*, 2; 75–76 [in Russian].
- 3 Porada, A.A., & Porada, T.N. (2003). Izuchenie vidov roda Echinatseia v usloviakh lesostepi Ukrainy [Study of species from genus Echinacea in the conditions of forest-steppe of Ukraine]. Proceedings from With Echinacea into the Third Millennium '03: *Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia — International Scientific Conference*. Poltava, 69–73 [in Russian].
- 4 Gerhensjn, J. (1984). *Phytochemical Adaptations to Stress*. New York.
- 5 Arkhipenko, F.M., Plakhotshok, V.Ya., & Pavliuk, O.V. (1994). Netraditsionnye kormovye kultury v veterinarnoi meditsine [Non-traditional feeds culture in veterinary medicine]. Proceedings from Introduction of nutrient and feed plants '94: *Nauchnaia konferentsiia — Scientific Conference*. Kiev, 19–21 [in Russian].
- 6 Burger, R.A., & Torres, A.R. (1997). Echinacea induced cytokine production, by human macrophages. *Int. Immunopharmacol.*, 371.
- 7 Bizunok, N.A. (2008). Farmakologicheskie svoistva ekhinatsei [Pharmacological properties of Echinacea]. *Retsept — Recipe*, 5 (61); 42–49 [in Russian].
- 8 Menshova, V.A. (1989). Biologiya tsveteniia i plodonosheniia introdutsirovannykh na Ukraine vidov roda Ekhinatseia [Biology of flowering and fruiting of echinacea species introduced in Ukraine]. *Okhrana, izuchenie i obogashchenie rastitel'nogo mira — Protection, study and enrichment of the plant world*. Moscow: Nauka, 16; 53–55 [in Russian].
- 9 Vasilova, E.S. (2000). Ontogenez *Echinacea purpurea* (L.) Moench v Srednii Ural [Ontogenesis of *Echinacea purpurea* (L.) Moench in the Middle Urals]. *Rastitelnye resursy — Plant Resources*, 10 (2); 38–44 [in Russian].
- 10 Ilinskii, O.A. (2004). Osobennosti dinamiki vodnogo rezhima *Echinacea purpurea* (L.) Moench [Features of *Echinacea purpurea* (L.) Moench Water Regime Dynamics]. *Biuletten Glavnogo botanicheskogo sada — Bulletin of the Main Botanical Garden*, 186; 233–241 [in Russian].
- 11 Saparbaeva, N.A. (2010). Zhiznennyi tsikl Ekhinatsei purpurnoi [Life circle of Echinacea purpurea]. *Doklady Natsionalnoi akademii nauk Respubliki Kazakhstan — Proceeding of National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan*, 5; 64–68 [in Russian].
- 12 Xian-Quo, G., Ze, L.-L., Manthaw, B., & Lian Li-Ghi, W. (1998). Analysis of alkaloids in roots and achenes of *Echinacea purpurea* by liquid chromatography-electrospray mass spectrometry. *J. Chromatography*, 815; 205–211.
- 13 Proksh, A., & Wagner, H. (1987). Structural analysis of a 4-o-methylglucuronarabino(y)lan with immunostimulating activity from *Echinacea Purpurea*. *Phytochem.*, 26(7); 1989–1993.
- 14 Kurkin, V.I., Chepurnova, A.S., Ryzhov, V.M., Tarasenko, L.V., Suvorova, G.N., & Avdeeva, E.V. (2009). Anatomicheskoe i morfologicheskoe izuchenie travy ekhinatsei purpurnoi s pomoshchiu tsifrovoi mikroskopii [Anatomical and morphological study of echinacea purple grass by digital microscopy]. *Farmatsiia — Pharmacy*, 2(7); 15–18 [in Russian].
- 15 Dushanova, G.M., Olimov, N.K., Mukhitdinov, A.A., & Kurbonova, M.M. (2017). Strukturnye osobennosti vegetativnykh organov *Echinacea purpurea* (L.) Moench v usloviakh introduktsii [Structural features of vegetative organs of *Echinacea purpurea* (L.) Moench in the introduction condition]. *Farmatsevticheskii zhurnal — Pharmaceutical Journal*, 3; 28–32 [in Russian].
- 16 Mamykova, R.U. (2014). *Echinacea purpurea* (L.) Moench vegetativtik mushelerining anatomiialyq erekshelikteri [Anatomical features of vegetative organs of *Echinacea purpurea* (L.) Moench]. *Khabarshy — News*, 2 (99); 287–290 [in Kazakh].
- 17 (2008). *Gosudarstvennaia farmakopeia Respubliki Kazakhstan [The state pharmacopeia of Republic of Kazakhstan]*. Almaty: Zhibek zholy, 1; 563, 564 [in Russian].
- 18 Barykina, R.P., Veselova, T.D., & Deviatov, A.G. (2004). *Spravochnik po botanicheskoi mikrotekhnike (osnovy i metody) [Reference on botanical microtechnics (basics and methods)]*. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, 66–68 [in Russian].

G.G. Meyramov^{1*}, V.I. Korchin², K.D. Kohnert³,
A.Z. Shaybek¹, F.S. Abikenova⁴, A.G. Meyramova⁵

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

²Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

³Institute of Diabetes "Gerhardt Katsch", Karlsburg, Germany;

⁴Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan;

⁵Bolashaq Academy, Karaganda, Kazakhstan

*Corresponding author: meyradow@mail.ru

The biological role of zinc in the pancreas, prostate and in submandibular glands and influence of its complex salts with chelators on the state of glands tissue

The article provides data on the biological role of zinc in humans and animals. The main part of zinc is concentrated in three glands: Pancreas, prostate, and submandibular glands. The authors provide data on the role of zinc value and its role in each of the described glands. For the first time, zinc in the prostate and submandibular gland has been shown to interact with chelating substances, forming intra-complex salts that are well detected using histochemical methods. Analyzing data on the effect of chelators on the tissue of the prostate and submandibular glands, the authors provide data indicating that they are capable of having a damaging effect on them, causing the development of various histological changes, which serves as an indication that the damaging effect of zinc-binding complexing agents is not specific to pancreatic B cells alone; on which they have a direct damaging effect, causing their necrosis and destruction. This is also evidenced by the presented data, according to which zinc-binding chelators in the endocrine tissue of the pancreas itself have a damaging effect not only on B cells, but also on endothelial cells of blood capillaries, which is accompanied by impaired microcirculation in pancreatic islets. We provide evidence that zinc-binding substances, in particular 8-oxyquinoline derivatives, are included in some antimicrobial drugs, which need to be noted.

Keywords: zinc, zinc binding chemicals, pancreas, prostate, submandibular glands.

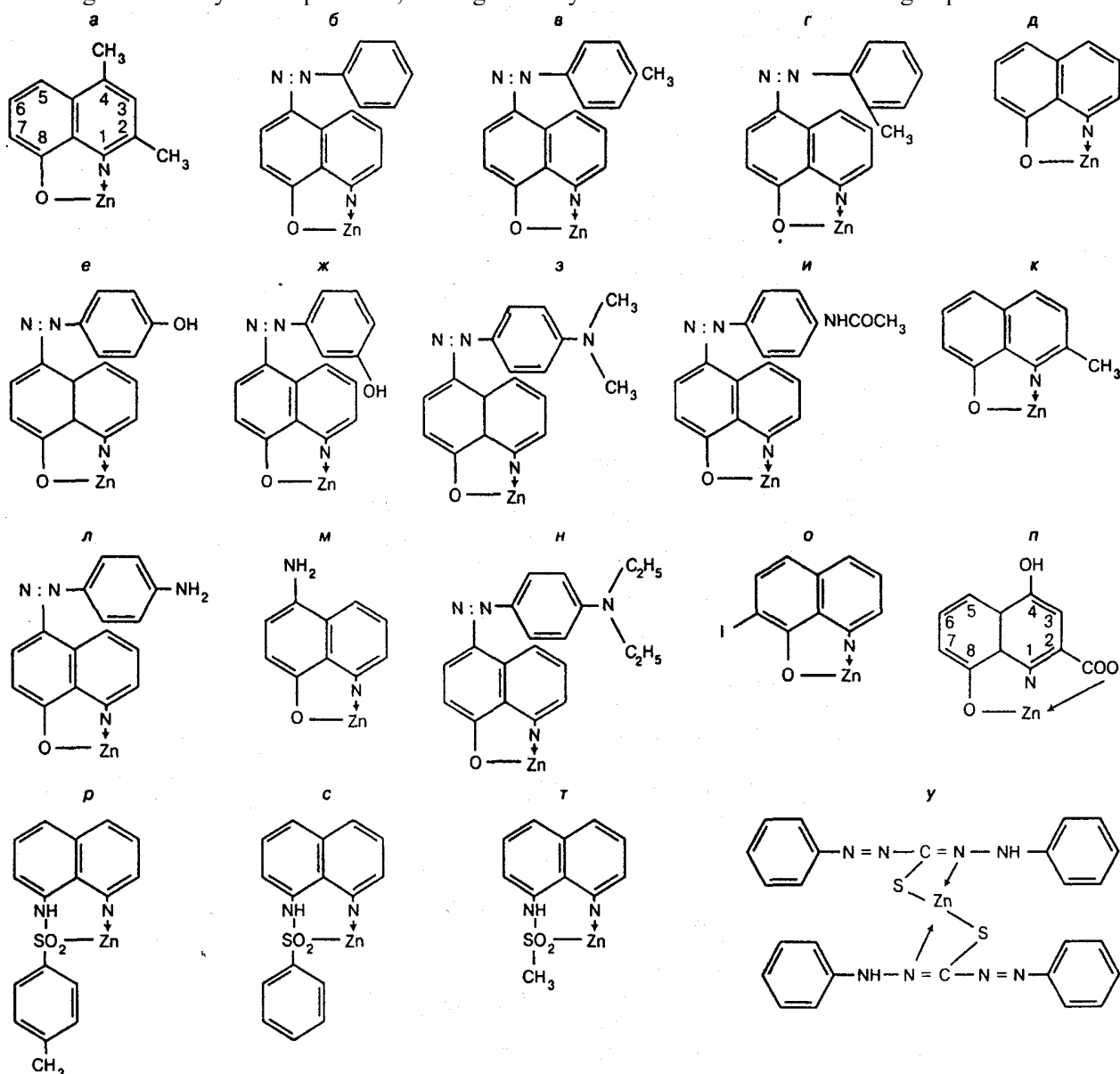
Review

In the human body, the total amount of zinc content is 2–3 g. The largest amount is detected in the pancreas and prostate glands. More than 80 years ago, Scott A. and Fischer D. informed that insulin in pancreas is located in the form of a zinc-insulin complex, suggesting that zinc ions determine the physiological activity of insulin [1]. Apart from humans, a large amount of zinc is revealed in the pancreas in many birds, dogs, rabbits, mice, horses, and some species of fish, hamsters, cats, and amphibians [2–5]. Okamoto K. for the first time said that zinc in the pancreas is concentrated in B-cells producing insulin [6, 7]. According to modern opinions, zinc takes part in the processes of formation of insulin storage complex in B-cells [8]. Storage form of insulin is important in the regulation of carbohydrate metabolism, in particular, in maintaining glucose homeostasis, ensuring the relative level of its blood. The high level of blood glucose via glucose receptors stimulates dissociation of zinc-insulin complex and release of insulin in blood. There is a proportional relationship between the zinc content in B-cells and the amount of insulin in cytoplasm. Decrease in the amount of insulin in B-cells is accompanied by a decrease in amount of zinc [9, 10]. Zinc at an earlier stage of insulin synthesis in B-cells takes part in two important processes: Process of the formation of insulin hexamer and process of crystallization of insulin in B cells [11].

The content of zinc in B-cells is significantly reduced in animals with experimental diabetes, regardless of what caused it [12–17]. Using the electron histochemistry method, Okamoto K. and Kawanishi H. confirmed that in B-cells zinc ions are localized in B-granules, the contents of which are the deposited form of insulin [18, 19], in particular, in the central part of the granules, on the periphery and partially in the shell in granules [20].

Zinc ions contained in cytoplasm B-cells have a coordination number equal to 4 and 6 and are able to engage in interaction with a number of substances with the ability to form with them not conventional salts based on valence bonds, but form complex salts (chelates), in which the zinc atom is firmly fixed between several adjacent atoms, forming chelate compounds by more durable covalent hybrid bonds [21], capable of causing destruction

and cell death to a short period of time [22, 23]. Zinc atoms are fixed between nitrogen, sulfur, or oxygen atoms. According to the ability of complexation, zinc significantly exceeds the metals of the main group.



a — 2,4-dimethyl-8-hydroxyquinoline, 35 mg/kg; *b* — 5-phenylazo-8-oxyquinoline, 20 mg/kg; *in* — 5-p-(toluene)-8-oxyquinoline, 20 mg/kg; *g* — 5-o-(toluene)-8-hydroxyquinoline, 40 mg/kg; *d* — 8-oxyquinoline, 50–60 mg/kg; *e* — 5-p-(hydroxyphenylazo)-8-hydroxyquinoline, 20 mg/kg; *z* — 5-m-(hydroxyphenylase)-8-hydroxy xinoiline, 30 mg/kg; *s* — 5-p-(dimethylaminophenylase)-8-hydroxykinoline, 45 mg/kg; *u* — 5-p-(diethylaminophenylazo)-8-hydroxyquinoline, 5 mg/kg; *k* — 8-oxychinaldine, 10 mg/kg; *l* — 5-p-(aminophenylazo)-8-oxyquinoline, 10 mg/kg; *m* — 5-amino-8-oxyquinoline, 30 mg/kg; *h* — 5-p-(diethylaminonophenylase)-8-hydroxykinoline, 40 mg/kg; *o* — 8-oxy-7-iodhinoline, 50–60 mg/kg; *p* — 4,8-dihydroxyquinoline-2-carboxylic acid (xanurenic acid); *r* — 8-p-(toluenesulfonylamino)quinoline, 40–50 mg/kg; *s* — 8-p-(benzenesulfonylamino)quinoline, 30–100 mg/kg; *t* — 8-p-(methanesulfonylamino)quinoline, 40–81 mg/kg; *y* — diphenylthiocarbazon, 45–50 mg/kg

Figure 1. Complex salts of diabetogenic B-cytotoxic complex of forming substances with zinc ions

The largest amounts of zinc in the body are contained in B-cells of the pancreas and prostate glands.

Rubbo S. and Albert A. [24] found that the toxic effect of oxyquinoline is associated with its ability to form in the cell toxic chelate complex with metals, which was subsequently repeatedly confirmed. They showed that the presence of this complex in the cytoplasm of B-cells for a short time is accompanied by their damage. In experiments using various isomers of azaoxyquinoline (azainer) — 8-oxyhyquinoline derivative — the isomers forming chelates 1:1 possess the greatest toxicity with metal to have logarithm of

resistance constants, equal to 7.6 and higher, to 9.4, while the toxicity of complexes of other isomers of azaoxine with a smaller value of the resistance constant of 5.8–6.7, significantly lower [21]. It is also shown that having high toxic complexes of 8-hydroxyquinoline derivatives with zinc ions have a high stability constant, equal to 8.5. Later Weitzel G. et al. [25] experimentally confirmed that the complex of composition 1:1 contains 1 molecule of 8-oxychinoline and one zinc atom is the most toxic for cells (Table 1). Formation of complexes 2: 1 constant indicator of stability of the latter depends in addition on the degree of affinity of the chelator to the metal, further from the two characteristics of the chelators and metal. The presence of additional radicals in the para-positions of the complex of the chelator, especially in areas close to those that interact with the metal ion, contributes to the occurrence of the steric effect, as a result of which the two of its molecules cannot get together so much that it became possible to fixation metal in a stable ring. If the latter cation has a small diameter, then the ring is not able to form at all. The zinc atom has a radius value of 0.74 nm and occupies the median position between beryllium (0.31 nm) and rubidium (1.49 nm), the same as a nickel (0.72 nm) and cobalt (0.74 nm) [4]. The high strength of the zinc-dithizone complex of the composition 2:1 is due to the spatial extension of the dithizone molecule and the arrangement of two phenol rings at the ends of the molecule, which does not interfere with the sulfur and nitrogen atoms located in the center of the dithizone molecule, close to the zinc atom.

In addition, the zinc atom is adjusted between two nitrogen and sulfur atoms with respect, to which the zinc affinity is high and somewhat exceeds the affinity of the ions of this metal to oxygen. Finally, two dithizone molecules are involved in the interface, having a total large number of double bonds. As for complexes of composition 1: 1 with 8-hydroxyxyxicinoline derivatives, their strength is due to both a large number of double bonds in the molecule of the complex agent and the formation of a four-membered ring (Fig. 1). In addition, the sulfur atom participates in the conjugation of 8-shealfonylaminoxyhynolines. The additional strength of the zinc-xanthurenic acid complex gives the conclusion of a zinc atom between two oxygen atoms.

The prostate gland total contains the largest amount of zinc. In the prostate fluid, its number reaches 590 µg/g. In the peripheral zone of the gland, its content is 2.5–3 times higher than in the central [26] reaching 290 µg /g. Zinc is an inhibitor of 5- α -reductase — an enzyme converting testosterone into the more active hormone dihydrotestosterone, which contributes to the growth of the prostate (Fig 2). The physiological role of zinc contained in the liquid of the prostate gland is to implement the mechanisms of disagreement between the head and the tail of the spermatozoa. The indicator of the functional state of the prostate gland is the content in its secretion of citric acid and zinc ions [27]. Zinc affects the activity of sex hormones, the production of spermatozoa, the development of male genital glands and secondary sexual signs. Citric acid formed in the prostate gland contributes to sperm soluble, the activation of hyaluronidase, and the latter contributes to the penetration of sperm in the egg. Zinc is a specific inhibitor of the mitochondrial aconitase of prostate epithelium, which is accompanied by an increase in citrate concentration due to the inhibition of its oxidation in mitochondria [28].

The influence of a zinc-chelate complex forming in the cells of the cellular structures.

The direct effect on the B-cells of the pancreas of chelate active chemicals possess a high affinity to zinc and is accompanied by the formation of a zinc-chelator complex (Fig. 2.1; 2.2), which causes damage and destruction of 80–90 % of cell-matrix of B-cells 15–30 min after injection of chelator (Fig. 1.5; 1.6).

It has been established that since zinc in B-cells is concentrated in B-granules, where in storage form of insulin is formed and accumulated, the destruction of cells begins with damage and destruction of B-pellets after 5 minutes after the formation of the complex.

The investigation of histotopography of zinc in B-cells made it possible to establish that its maximum amount in the form of a zinc insulin complex is observed around inside islet blood capillaries (Fig. 2.3; 2.4).

Is the destructive influence of the chelator strictly specific effect on the influence of B-cells? As it was later shown, the places dense adjacent to the zinc-chelator complex to the walls of the capillaries develop damage to the endothelium in combination with the development of circulatory microcirculation disorders [29]. Developing changes in the endothelium of capillaries is an indication and indicate, thus, in favor of the non-specificity of the damaging effect of the chelator. It should be noted that these changes are developing during the first few days after the impact of the chelator and cannot be attributed to the number of late vascular complications observed in diabetes.

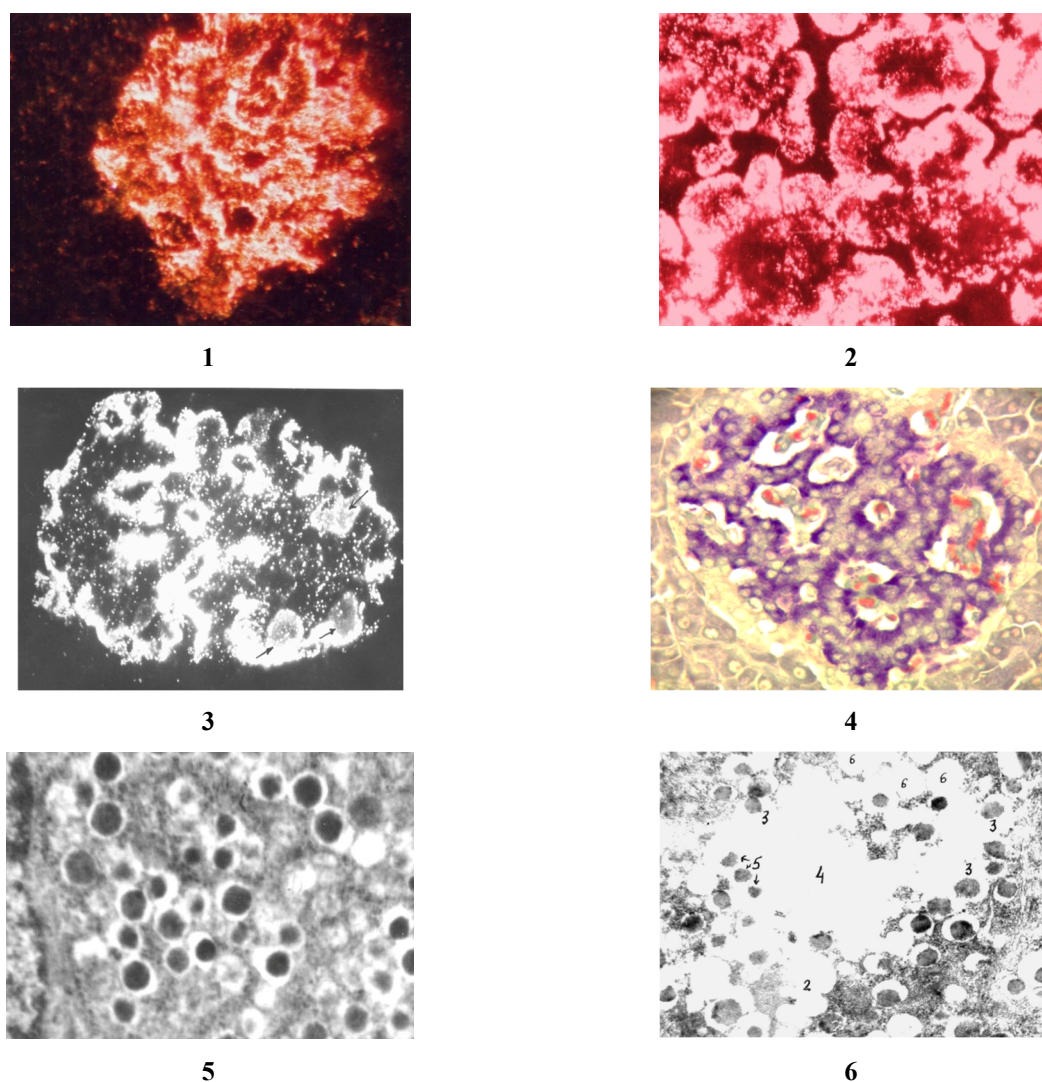


Figure 2. Zinc-Dithizone complex (bright red granules) in B-cells of pancreas (1) and in cells of the prostate gland (2); The similarity of the histotopographic localization of insulin (3) and zinc (4) in B-cells of the pancreas; 5, 6 — electron microscopy: normal cell matrix of B-cells with B-granules of oval form containing a zinc-insulin complex (5) 30 min. after action of the Dithizone: destruction of matrix and of B-granules formation of massive zones of destruction of B-cells (6)

Histological investigation of tissue of submandibular glands as of prostate, also containing zinc, deeper changes were revealed: hyperemia, accompanied by stasis and lysis of leukocytes in blood, fibrinoid changes with signs of destruction of the walls of arterioles, plasma impregnation, destruction and necrosis of epithelial cells of ductus, dystrophy of Intra ductus tissue, vacuolization and pycnosis of cell nuclei [30]. The question arises: whether these changes are the result of a direct damaging effect of the zinc-chelate complex [1], or do they relate to the number of late complications of diabetes [2] not directly related to the direct influence of the chelate? The minimum time required for the development of histological changes in islet tissue after exposure to the substances under study is 3–4 days, while the late vascular complications in animal experiments, in particular on rabbits, are detected only in a few weeks (a person is usually in a few years). The above-described changes were detected [30] in animals after 6 days after the effects of the chelate. This gives grounds to believe that these changes are due to the direct toxic effect of the zinc-chelate complex. In turn, the response to another question depends on the final answer to this question: whether the damaging effect of the zinc-chelate complex is specific to only B-cells of the pancreas, or it is nonspecific and capable of providing a damaging effect on other tissue cells containing zinc.

Conclusions

Currently, about 20 complexes of forming chelators are capable of forming toxic complexes, causing destruction and cell death, with zinc. First of all, it is the glands containing zinc, in particular, endocrine pancreatic cells. These include 16 oxyquinoline derivatives (arylaz derivatives, arensulfonylaminoquinolines, diphenylthiocarbazone). Oxyquinoline derivatives are included as the main component in a range of antibacterial action drugs intended for the treatment of skin diseases. The antibiotic tetracycline hydrochloride possesses a high affinity to zinc and high doses accompanied by hyperplasia and in-cell damage. Similar properties have the drug enteroseptol, intended for the treatment of intestinal diseases. Now the contact of a person with various chemical compounds in everyday life has increased significantly. Among them, it is impossible to eliminate the presence of chelators having a high affinity to zinc and having high stability constant of the logarithm. 18 of them due to the chelating of zinc in cells cause their death. It is necessary to keep attention to chemical compounds of this group as potentially capable of rendering an adverse effect on the endocrine pancreatic tissue and on the prostate gland.

References

- 1 Scott D.A. The effect of zinc salts on the action of insulin / D.A. Scott, A.M. Fischer // *J. Pharm. Exper. Therap.* — 1935. — Vol. 55. — P. 206–221.
- 2 Войнар А.И. Введение в химию комплексных соединений / А.И. Войнар. — М.: Химия, 1960. — 631 с.
- 3 Galabova R. Rontgen-Fluoreszenz Untersuchung von Zink, Kupfer und Kobalt in pancreas einiger sanger / R. Galabova, P. Petkov, J. Kolev // *Acta Histochem.* — 1971. — № 2. — P. 335–342.
- 4 Мейрамова А.Г. Диабетогенные цинксвязывающие В-цитотоксические соединения (обзор) / А.Г. Мейрамова // *Проблемы эндокринологии.* — 2003. — Т. 49, № 2. — С. 8–16.
- 5 Greenberg L. Studies of diabetogenic effects of the xanturenic acid / L. Greenberg, D. Behr // *Arch. Biochem.* — 1949. — Vol. 21. — P. 237–240.
- 6 Okamoto K. Biologische Untersuchungen der Metalle: histochemischer Nachweis einiger Metalle in den Geweben, besonders in den Nieren und deren Veranderungen / K. Okamoto // *Trans. Soc. Pathol. Jap.* — 1942. — Vol. 32. — P. 99–105.
- 7 Okamoto K. Biologische Untersuchungen der Metalle: Uber das Gewebeseisen der Malarialeber und mils die Zinkstoffwechsel / K. Okamoto // *Trans. Soc. Pathol. Jap.* — 1943. — Vol. 33. — P. 247–252.
- 8 Emdin S.O. Role of zinc in insulin biosynthesis. Some possible zinc-insulin interactions in the pancreatic B-cell / S.O. Emdin, G.G. Dodson, J.M. Cutfield, S.M. Cutfield // *Diabetologia.* — 1980. — Vol. 19. — P. 174–182.
- 9 Лапин В.И. Содержание цинка и инсулина в В-клетках островков Лангерганса при экспериментальном аллоксановом диабете / В.И. Лапин, В.И. Корчин, Г.Г. Мейрамов, В.А. Сатосин // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* — 1973. — № 4. — С. 36–39.
- 10 Okamoto K. Experimental pathology of diabetes mellitus / K. Okamoto. — *Diabetes Mellitus: Theory and Practice.* — New York, 1970. — P. 256–264.
- 11 Andersson B.P. Sub-cellular distribution of zinc in islets B-cells fraction / B.P. Andersson, P. Flatt // *Horm. Metab. Res.* — 1980. — Vol. 12. — P. 275–276.
- 12 Maske H. Beobachtungen uber das Zink in den Langerhansschen Inseln des Pancreas und seine Beziehungen zur Insel function / H. Maske // *Acta neuroveget.* — 1953. — Vol. 2, № 2. — P. 96–104.
- 13 Meyramov G.G. Does Diabetogenic Activity of Xanturenic Acid determined by its Chelating Properties? / G.G. Meyramov, V.I. Korchin // *Transplantation proceedings.* — 1998. — Vol. 30 (6). — P. 2682–2684.
- 14 Meyramov G.G. Glutathione reduced Form Protect B-cells from Destruction Caused by Diabetogenic Ligands / G.G. Meyramov, K.-D. Kohnert, A.Z. Shaybek // *Diabetes.* — 2015. — Vol. 64 (7). — P. 735.
- 15 Meyramov G.G. Studies of the Mechanisms of Diabetogenic Action of Xanturenic Acid / G.G. Meyramov, K.-D. Kohnert, F.S. Abikenova, A.G. Meyramova // *Diabetes Res. & Clinical Practice.* — 2000. — Vol. 50 (9). — P. 154–155.
- 16 Лазарис Я.А. Экспериментальный диабет, вызываемый 5(п-ацетаминифенилазо)-8-оксихинолином / Я.А. Лазарис, З.Е. Бавельский // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* — 1970. — № 3. — С. 44–48.
- 17 Манусаджян В. Масс-спектрометрическая идентификация ксантуреновой кислоты в предиабете / В. Манусаджян, Ю.А. Князев, Л.Л. Вахрушева // *Вопросы мед. хим.* — 1974. — № 1. — С. 95–97.
- 18 Kawanishi H. Secretion of B-granules in islets of Langerhans in association with intracellular reactive zinc after administration of Dithizone in rabbits / H. Kawanishi // *Endocrinol. Jap.* — 1966. — Vol. 13 (4). — P. 384–408.
- 19 Okamoto K. Submicroscopic histochemical demonstration of intracellular reactive zinc in B-cells of pancreatic islets / K. Okamoto, H. Kawanishi, K. Okamoto, H. Kawanishi // *Endocrinol. Jap.* — 1966. — Vol. 13 (3). — P. 305–318.
- 20 Yokoh S. Electron microscopy histochemistry of heavy metals in islets of Langerhans of rabbits / S. Yokoh, O. Aoi, Z. Matsumo // *Diabetologia.* — 1969. — Vol. 5 (3). — P. 137–142.

- 21 Albert A. Selective toxicity / A. Albert. — London, 1968. — 294 p.
- 22 Лазарис Я.А. К выяснению роли блокирования цинка в патогенезе дитизинового диабета / Я.А. Лазарис, Г.Г. Мейрамов // Проблемы эндокринологии. — 1974. — № 5. — С. 90–94.
- 23 Мейрамов Г.Г. Ультраструктура панкреатических В-клеток при дитизиновом диабете и его предупреждении диэтилдитиокарбаматом натрия / Г.Г. Мейрамов, Н.И. Труханов // Проблемы эндокринологии. — 1975. — № 6. — С. 92–95.
- 24 Rubbo S. Studies of diabetogenic action of 8-oxoquinolin / S. Rubbo, A. Albert // Brit. J Exp. Pathol. — 1950. — Vol. 31. — P. 425–428.
- 25 Weitzel G. Zinkbindungswormogen und Blutzucker wirkung von Xanturensaure, Kynurenin und Tryptophan / G. Weitzel, E. Budecke // Hoppe-Seyler's Z. Physiol. — 1954. — Vol. 298. — P. 169–184.
- 26 Kolenko V. Zinc and zinc transporters in prostate cancerogenesis / V. Kolenko, E. Teper, V. Kutikov // Nat. Re. Urol. — 2013. — Vol. 10 (4). — P. 219–226.
- 27 Castello L.C. Role of Zinc in Pathogenesis and Treatment of Prostate Cancer: critical issues to resolve / L.C. Castello, P. Feng, B. Milon // Prostate cancer prostatic diseases. — 2004. — Vol. 7 (2). — P. 111–117.
- 28 Singh K.K. Mitochondrial aconitase and citrate metabolism in the malignant and benign prostate tissue / K.K. Singh, M.M. Desouki, R.B. Franklin // Mal. Cancer. — 2006. — Vol. 5 (14). — P. 312–318.
- 29 Meyramov G.G. On the mechanisms of damaging effect of diabetogenic chelators on the endothelium of capillaries of pancreatic islets / G.G. Meyramov, A.Z. Shaybek // Bulletin of the Karaganda University, series Biology. Medicine. Geography. — 2021. — № 2 (102). — P. 70–76.
- 30 Кикимбаева А.А. Морфологическое состояние подчелюстной железы в условиях экспериментального сахарного диабета, вызываемого комплексообразующими соединениями / А.А. Кикимбаева, Г.Г. Мейрамов // Астана мед. журн. — 2020. — № 1(103). — С. 298–302.

Г.Г. Мейрамов, В.И. Корчин, К.-Д. Конерт,
А.Ж. Шайбек, Ф.С. Абикенова, А.Г. Мейрамова

Мырыштың ұйқы және қуықасты бездеріндегі биологиялық рөлі және оның хелаттүзетін заттармен кешендік қосылыстарының бездер ұлпасының жай-күйіне әсері

Мақалада мырыштың адам және жануарлар организміндегі биологиялық рөлі туралы мәліметтер келтірілген. Мырыштың негізгі бөлігі үш безде шоғырланған: ұйқы безі, қуықасты және жақасты бездері. Авторлар сипатталған бездердің әрқайсысындағы мырыштың рөлі және оның маңызы туралы деректер келтірген. Қуықасты және жақасты бездеріндегі мырыштың хелаттүзетін заттармен әрекеттесіп, гистохимиялық әдістермен жақсы анықталатын комплексшілік тұздар түзетіні алғаш рет көрсетілді. Хелаторлардың қуықасты және жақасты бездерінің тіндеріне әсері туралы деректерді талдай отырып, мақала авторлары әртүрлі гистологиялық өзгерістердің дамуына себеп болатын, оларға зиянды әсер ететін мәліметтерді келтірген, мырыш-байланыстыратын кешентүзуші заттардың зақымдаушы әсері тек қана ұйқы безінің В-жасушаларына ғана тән емес, олар тікелей зақымдаушы әсер етіп, олардың некрозын және бұзылуын тудырады. Келтірілген мәліметтерге сәйкес мырыш-байланыстыратын хелаторлар ұйқы безінің эндокриндік тіндерінде тек В-жасушаларына ғана емес, сонымен қатар қан капиллярларының эндотелий жасушаларына да зиянды әсер етеді, бұл панкреатиялық аралдарда микроциркуляцияның бұзылуымен бірге жүреді. Сонымен қатар мырыш-байланыстыратын заттар, атап айтқанда 8-оксихинолин туындылары микробқа қарсы әсері бар кейбір дәрі-дәрмектердің құрамына кіреді, оларға да назар аудару керек.

Кілт сөздер: мырыш, мырыш байланыстыратын заттар, ұйқы безі, қуық асты безі, жақасты безі.

Г.Г. Мейрамов, В.И. Корчин, К.-Д. Конерт,
А.Ж. Шайбек, Ф.С. Абикенова, А.Г. Мейрамова

Биологическая роль цинка в поджелудочной и предстательной железах и влияние его внутрикомплексных соединений с хелатообразующими веществами на состояние ткани желез

В статье приведены данные о биологической роли цинка в организме человека и животных. Основная часть цинка сконцентрирована в трех железах: поджелудочной, предстательной и в подчелюстных железах. Авторами приведены данные о значении цинка и роли его в каждой из описываемых желез.

Впервые показано, что цинк в предстательной и подчелюстной железах взаимодействует с хелатообразующими веществами, формируя внутрикомплексные соли, которые хорошо выявляются с помощью гистохимических методов. Анализируя данные о влиянии хелаторов на ткань предстательной и подчелюстных желез, авторы приводят данные, свидетельствующие о том, что они способны оказывать повреждающее воздействие на них, вызывая развитие различных гистологических изменений, что служит указанием на то, что повреждающее действие цинк-связывающих комплексобразующих веществ не является специфичным только в отношении В-клеток поджелудочной железы, на которые они оказывают прямое повреждающее воздействие, вызывая их некроз и деструкцию. Об этом же свидетельствуют приводимые данные, согласно которым цинк-связывающие хелаторы и в самой эндокринной ткани поджелудочной железы оказывают повреждающее действие не только на В-клетки, но и на клетки эндотелия кровеносных капилляров, что сопровождается нарушением микроциркуляции в панкреатических островках. Авторы приводят данные о том, что цинк-связывающие вещества, в частности, производные 8-оксихинолина входят в состав некоторых лекарственных препаратов antimicrobial действия, на что необходимо обратить внимание.

Ключевые слова: цинк, цинк-связывающие вещества, поджелудочная железа, предстательная железа, подчелюстные железы.

References

- 1 Scott, D.A. & Fischer A.M. (1935). The effect of zinc salts on the action of insulin. *J. Pharm. Exper. Therap.*, 55; 206–221.
- 2 Voinar, A.I. (1960). *Vvedenie v khimiiu kompleksnykh soedinenii [Introduction into chemistry of complex compounds]*. Moscow: Chemistry [in Russian].
- 3 Galabova, R., Petkov, P., & Kolev, J. (1971). Rontgen-Fluoreszenz Untersuchung von Zink, Kupfer und Kobalt in pancreas einiger sanger. *Acta Histochem.*, 2; 335–342.
- 4 Meiramova, A.G. (2003). Diabetogennye tsinksvyazyvaiushchie V-tsitotoksicheskie soedineniia (obzor) [Diabetogenic zinc-binding B-cytotoxic compounds (overview)]. *Problemy endokrinologii — Problems of endocrinology*, 49 (2); 8–16 [in Russian].
- 5 Greenberg, L., & Behr D. (1949). Studies of diabetogenic effects of the xanturenic acid. *Arch. Biochem.*, 21; 237–240.
- 6 Okamoto, K. (1942). Biologische Untersuchungen der Metalle: histochemischer Nachweis einiger Metalle in den Geweben, besonders in den Nieren und deren Veranderungen. *Trans. Soc. Pathol. Jap.*, 32; 99–105.
- 7 Okamoto, K. (1943). Biologische Untersuchungen der Metalle: Uber das Gewebeseisen der Malarialeber und mits die Zinkstoffwechsel. *Trans. Soc. Pathol. Jap.*, 33; 247–252.
- 8 Emdin, S.O., Dodson, G.G., Cutfield, J.M., & Cutfield, S.M. (1980). Role of zinc in insulin biosynthesis. Some possible zinc-insulin interactions in the pancreatic B-cell. *Diabetologia*, 19; 174–182.
- 9 Lapin, V.I., Korchin, V.I., Meiramov, G.G., & Satosin, V.A. (1973). Soderzhanie tsinka i insulina v V-kletkakh ostrovkov Langergansa pri eksperimentalnom alloksanovom diabete [Content of zinc and insulin in B cells of Langerhans islets in experimental alloxane diabetes]. *Patologicheskaiia fiziologiia i eksperimentalnaia terapiia — Pathological physiology and experimental therapy*, 4; 36–39 [in Russian].
- 10 Okamoto, K. (1970). *Experimental pathology of diabetes mellitus. Diabetes Mellitus: Theory and Practice*. New York.
- 11 Andersson, B.P., & Flatt P. (1980). Sub-cellular distribution of zinc in islets B-cells fraction. *Horm. Metab. Res.*, 12; 275–276.
- 12 Maske, H. (1953). Beobachtungen uber das Zink in den Langerhansschen Inseln des Pancreas und seine Beziehungen zur Insel function. *Acta neuroveget.*, 2 (2); 96–104.
- 13 Meyramov, G.G., & Korchin, V.I. (1998). Does Diabetogenic Activity of Xanturenic Acid determined by its Chelating Properties? *Transplantation proceedings*, 30 (6); 2682–2684.
- 14 Meyramov, G.G., Kohnert, K.-D., & Shaybek, A.Z. (2015). Gluthatione reduced Form Protect B-cells from Destruction Caused by Diabetogenic Ligands. *Diabetes*, 64 (7); 735.
- 15 Meyramov, G.G., Kohnert, K.-D., Abikenova, F.S., & Meyramova, A.G. (2000). Studies of the Mechanisms of Diabetogenic Action of Xanturenic Acid. *Diabetes Res. & Clinical Practice*, 50 (9); 154–155.
- 16 Lazaris, Ya.A., & Bavel'skii, Z.E. (1970). Eksperimentalnyi diabet, vyzvaemyi 5(p-atsetaminofenilazo)-8-oksikhinolinom [Experimental diabetes caused by 5 (p-acetaminophenilazo) -8-oxyquinoline]. *Patologicheskaiia fiziologiia i eksperimentalnaia terapiia — Pathological physiology and experimental therapy*, 3; 44–48 [in Russian].
- 17 Manusadzhian, V., Kniazev Yu.A., & Vakhrusheva, L.L. (1974). Mass-spektrometricheskaiia identifikatsiia ksanturenovoi kisloty v prediabete [Mass Spectrometric Identification of Xanthurenic Acid in Prediabetes]. *Voprosy meditsinskoi khimii — Questions of Med Chem.*, 1; 95–97 [in Russian].
- 18 Kawanishi, H. (1966). Secretion of B-granules in islets of Langerhans in association with intracellular reactive zinc after administration of Dithizone in rabbits. *Endocrinol. Jap.*, 13 (4); 384–408.
- 19 Okamoto, K., & Kawanishi, H. (1966). Submicroscopic histochemical demonstration of intracellular reactive zinc in B-cells of pancreatic islets. *Endocrinol. Jap.*, 13 (3); 305–318.

- 20 Yokoh, S., Aoi, O., & Matsumo, Z. (1969). Electron microscopy histochemistry of heavy metals in islets of Langerhans of rabbits. *Diabetologia*, 5 (3); 137–142.
- 21 Albert, A. (1968). *Selective toxicity*. London.
- 22 Lazaris, Ya.A., & Meyramov, G.G. (1974). K vyasneniiu roli blokirovaniia tsinka v patogeneze ditizonovogo diabeta [To clarify the role of zinc blocking in the pathogenesis of dithizone diabetes]. *Problemy endokrinologii — Problems of endocrinology*, 5; 90–94 [in Russian].
- 23 Meyramov, G.G., & Trukhanov, N.I. (1975). Ultrastruktura pankreaticheskikh V-kletok pri ditizonovom diabete i ego preduprezhdenii dietilditiokarbamatom natriia [Ultrastructure of pancreatic B cells in dithizone diabetes and its prevention by sodium diethyldithiocarbamate]. *Problemy endokrinologii — Problems of endocrinology*, 6; 92–95 [in Russian].
- 24 Rubbo, S., & Albert, A. (1950). Studies of diabetogenic action of 8-oxoquinoline. *Brit. J Exp. Pathol.*, 31; 425–428.
- 25 Weitzel, G., & Budecke, E. (1954). Zinkbindungswormogen und Blutzucker wirkung von Xanturensaure, Kynurenin und Tryptophan. *Hoppe-Seyler's Z. Physiol.*, 298; 169–184.
- 26 Kolenko, V., Teper, E., & Kutikov, V. (2013). Zinc and zinc transporters in prostate cancerogenesis. *Nat. Re. Urol.*, 10 (4); 219–226.
- 27 Castello, L.C., Feng, P., & Milon, B. (2004). Role of Zinc in Pathogenesis and Treatment of Prostate Cancer: critical issues to resolve. *Prostate cancer prostatic diseases*, 7 (2); 111–117.
- 28 Singh, K.K., Desouki, M.M., & Franklin, R.B. (2006). Mitochondrial aonitase and citrate metabolism in the malignant and malignant prostate tissue. *Mal. Cancer*, 5 (14); 312–318.
- 29 Meyramov, G.G., & Shaybek, A.Z. (2021). On the mechanisms of damaging effect of diabetogenic chelators on the endothelium of capillaries of pancreatic islets. *Bulletin of the Karaganda University, Series Biology. Medicine. Geography*, 2 (102); 70–76.
- 30 Kikimbaeva, A.A., & Meyramov, G.G. (2020). Morfologicheskoe sostoianie podcheliustnoi zhelezy v usloviakh eksperimentalnogo sakharnogo diabeta, vyzivaemogo kompleksobrazuiushchimi soedineniiami [Morphological state of the submandibular gland under the conditions of experimental diabetes caused by complex-forming compounds]. *Astana meditsinalyq zhurnaly — Astana Medicinal Journal*, 1(103); 298–302 [in Russian].

Ye.N. Polivkina*, L.F. Subbotina, F.F. Zhamaldinov

*Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan***Corresponding author: polivkina@nmc.kz*

Investigation of tritium assimilation by sunflower crop at uptake through root

This study presents a quantitative assessment of tritium assimilation by sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop at HTO uptake by root *in vitro*. It is found that at chronic uptake of tritium radionuclide as tritiated water (HTO) by sunflower through root system mean value of OBT/TFWT ratio during vegetation was 0.21. The conversion rate of tissue free water tritium (TFWT) to organic matter as organically bound tritium (OBT) varied from 0.08 to 0.044 % h⁻¹, with a maximum in the leafage phase. Translocation index (TLI) for sunflower crop at root uptake of tritium was 65 %. The distribution nature of tritium in sunflower parts at lasting root uptake of tritium for tissue free water tritium and organically bound tritium decreases in the next rows consequently: “roots>inflorescences>stems>leaves” and “inflorescences>stems>leaves>roots”. At root uptake of tritium by sunflower as HTO form values of TFWT activity closely correlate with the activity of the isotope in water using for plant irrigation ($r = 0.89$). Established regularities of tritium assimilation and distribution in sunflower parts and OBT/TFWT ratio are of practical importance to biomonitoring of environmental contamination with tritium at impact territories of nuclear fuel cycle enterprises.

Keywords: sunflower, tritium, tritiated water, root uptake, assimilation, tissue free water tritium, organically bound tritium, conversion rate, ratio, translocation index.

Introduction

Tritium is produced during the operation of nuclear reactors of all types [1]. Currently, there are no efficient ways of capturing tritium, therefore the radionuclide together with discharges and releases from nuclear fuel cycle enterprises enters aquatic and terrestrial ecosystems and thus food chains, in which man can be the end link. The main depot of naturally occurring tritium isotope is water; therefore tritium together with a water flow and water vapors from places of primary contamination easily travels long distances [2–4].

A significant stage of tritium transfer is plants that are able to absorb man-made tritium incorporated in water through roots [5]. Next, as a result of identical chemical properties of ordinary water molecule (H₂O) and tritiated water (HTO), tritium is readily involved in photosynthesis processes, which result in its transfer to organically bound tritium (OBT) [6, 7]. Organically bound form of tritium is capable of being retained in cell structures for a long time, and its dose coefficients are roughly three times as high as tritiated water (HTO) ones [5, 8]. In this context, the study of problems of radiological and hygienic hazard of man-made tritium from the perspective of its uptake, distribution and incorporation in crop products, is a relevant task for developing strategic measures and predicting radioecological consequences in case of radiation accidents. However, risk assessment in case of contamination with tritium has remained a challenge up to now with many unknown quantities. Reasons are insufficiency, inconsistency of most *in vitro* and *in vivo* quantitative data describing processes of uptake, distribution and incorporation of man-made tritium. The paper is aimed at a quantitative assessment of the process of root uptake of HTO by plants *in vitro* the case of sunflower crop.

Experimental

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) was chosen as an experimental plant because it is actively cultivated in the Republic of Kazakhstan as an oil crop. Research into quantitative indices of incorporation of tritium at HTO root uptake by plants was undertaken *in vitro*.

Drainage system, then background light-chestnut loamy soil, in which sunflower was germinated *in vitro*, were placed in plastic vegetation vessels (V–35 l). A total of 10 vessels were prepared. Seeds similar in size and weight were used for the experiment. 3 plants at most were cultivated in the same vessel. For tritium root uptake simulation, plants were watered with water with HTO high activity concentration for the duration of vegetation. Water with a high activity concentration of tritium was sampled in the territory of Semipalatsk Test Site every 10 days to simulate natural dynamics of HTO in the soil solution of vegetation vessels. Experimental plants were watered with a regular portion of tritiated water 3 to 5 times for 10 days. In morn-

ing hours — with water at a pre-calculated rate maintaining optimal moisture of soil at the level of 60 % of the total moisture capacity [9].

Rather similar growth conditions of experimental plants were ensured by a phyto-lighting and thermoregulation system. The ventilation system in the laboratory premises was employed to exclude aerial uptake of tritium during the experiment owing to evaporation of HTO by soil after watering and transpiration activity of plants. The activity concentration of tritium in water and in plant samples was controlled simultaneously every 10 days.

The experiment lasted as long as the growth phase of sunflower seeds (when ripening begins) was 65 days. During the entire experiment, sampling of sunflower leaves was randomized every 10 days in three replications. At the end of the vegetation period, at the ripening stage, sunflower parts were additionally sampled (stems, leaves, inflorescences, roots) to establish the nature of tritium distribution in tissue-free water (TFWT — tissue-free water tritium) and in the organic matter (OBT — organically bound tritium). The weight of each plant sample averaged 100 to 150 g.

The activity concentration of tritium was measured in tissue-free water and the organic matter of plants. Free water from plants was separated through a special facility [10]. The facility represents a pressurized transparent vessel for feeding plant samples, connected with a cool metal surface and a receiver to collect condensate extracted from a sample. A 10–15 ml condensate collected was prepared for β -spectrometric measurement of the activity concentration of tritium with a liquid scintillation spectrometer.

Plant samples for measuring the activity concentration of OBT were prepared using a technique of combusting a dry plant sample with a “Sample Oxidizer 307” facility (Perkin Elmer, USA) followed by preparation of resulting water for β -spectrometric measurement of the activity concentration of ^3H with a liquid scintillation spectrometer.

The activity concentration of tritium in test samples was determined by liquid scintillation spectrometry using a “QUANTULUS 1220” spectrometer (Perkin Elmer, USA) [11]. Just before the analysis, all samples passed through a filtration stage to remove mechanical impurities. Then a 3 ml aliquot was collected from a measured sample and placed in a 20 ml plastic vial adding a scintillation cocktail in the ratio of 1 to 4. A scintillation cocktail Ultima Gold LLT specifically developed for measuring tritium in natural samples (tritium registration efficiency was in the order of 60 % ranging from 0 to 18 keV) was used to analyze samples. The measurement time of each sample was about 120 minutes. A beta-spectrum was processed, and tritium activity concentration was calculated with “Quanta Smart” software. The minimum detectable activity of tritium for the radiometric instrumentation used ranged as follows: for OBT — 4.5 to 7, for HTO — 2.7 to 5 Bq kg⁻¹.

Activity concentration ratio was determined as the ratio of activity concentrations of OBT and TFWT [12, 13].

The rate at which OBT is produced was calculated as per the formula [14]:

$$v \times C_{\text{TFWT}} = \frac{dC_{\text{OBT}}}{dt}, \quad (1)$$

where C_{OBT} — activity of OBT in sunflower leaves, Bqkg⁻¹; C_{TFWT} — activity of TFWT in leaves, Bqkg⁻¹; t — observation time (exposure time), h; v — the rate at which TFWT turns into OBT, % h⁻¹.

For a quantitative assessment of OBT transfer to the plant, the translocation index was employed, which was determined by the following ratio [15]:

$$TLI = \frac{C_{\text{OBT}}}{C_{\text{TFWT}}} \times 100 \%, \quad (2)$$

where C_{OBT} — activity of OBT in plant parts, Bq kg⁻¹; C_{TFWT} — activity of TFWT in leaves.

Results and Discussion

During the experiment with sunflower crop, climatic changes affecting biological productivity of plants were measured (temperature and relative humidity). Air temperature varied from 23 to 32 °C, relative air humidity — 35 to 55 % and as a whole corresponded to normal growth conditions of sunflower. The duration of the experiment was 65 days before ripening began.

Values of the activity concentration of tritium in water (for watering) during the experiment varied from 95 to 540 kBq kg⁻¹ (Fig. 1). As a whole, the variation range was 1 order of magnitude. Thus, natural dynamics of HTO was simulated *in vitro*.

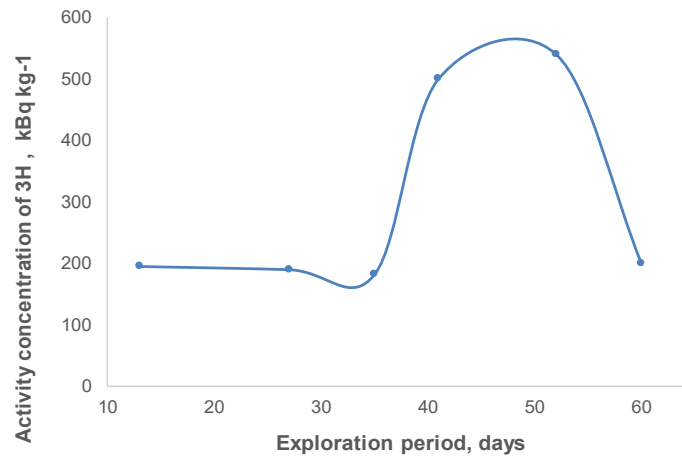


Figure 1. Measurement of the activity concentration of tritium in water (for watering)

Figure 2 illustrates the measurement results of TFWT and OBT activity concentration into sunflower leaves throughout the experiment.

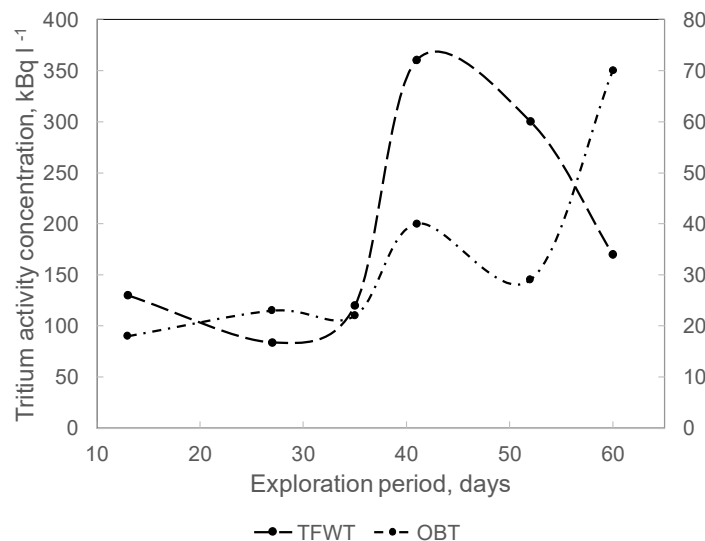


Figure 2. TFWT and OBT activity concentrations in sunflower leaves

According to provided data, values of OBT activity concentration ($n \cdot 10^4$) are one order of magnitude lower compared to TFWT values ($n \cdot 10^5$) for sunflower leaves during vegetation.

Based on derived quantitative parameters of TFWT and OBT, the conversation rate of TFWT to OBT in sunflower leaves was estimated (Fig. 3). During vegetation, rate values were varying between 0.080 and 0.044 % h $^{-1}$. The maximum rate at which OBT is produced was found in the active growth phase of sunflower, and at the end of vegetation (stage of seeds growth), the index of the rate at which OBT is produced decreased almost twice. A similar regularity was found when studying quantitative parameters of aerial uptake of tritium in vivo [16]. High rate of OBT formation at the early stages of plant development is attributed to intensive biosynthesis and consequently photosynthesis [5, 17]. A drop in the rate of tritium incorporation into organic structures of plants at the end of vegetation was probably caused by ageing of laminae and, accordingly, green plastids in which photosynthesis occurs [17].

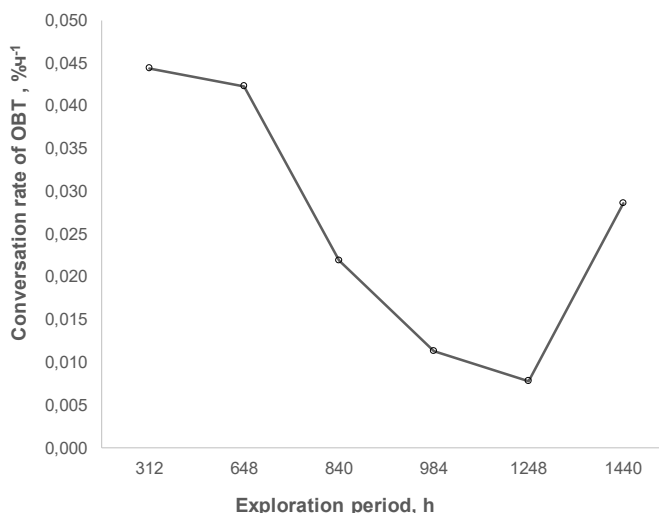


Figure 3. The conversion rate of OBT in sunflower leaves

Dependence derived from the conversion rate of OBT points to the fact that the process of ³H incorporation is largely attributed to specific nature of the entire complex of internal processes physiological processes in the course of vegetation development of the plant.

To analyze experimental quantitative parameters of tritium uptake by sunflower crop, a non-parametric statistical technique was applied — rank correlation analysis. According to obtained data, a significant trustworthy correlation (at $p < 0.05$) dependence was only revealed between values of activity concentration of tritium in the source of uptake (water that was used for watering) and TFWT ($r = 0.89$, $r = 0.89$, at $p < 0.05$).

Based on experimental data, values of OBT/TFWT ratio were derived for sunflower at root uptake (Fig. 4), which can be employed as tritium contamination markers.

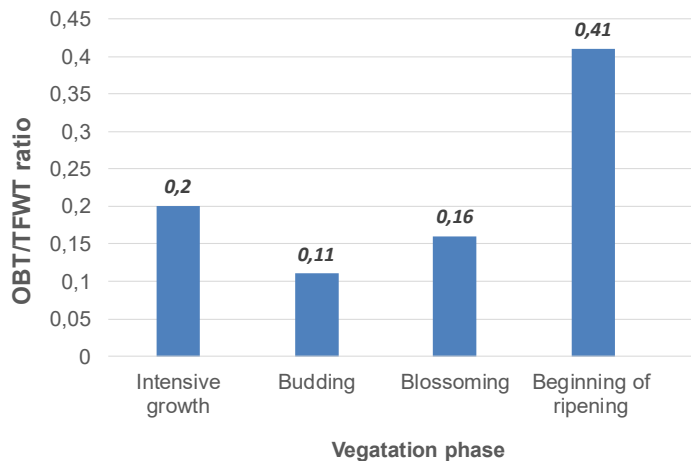


Figure 4. Values of OBT/TFWT ratio for sunflower at root uptake of HTO

The mean OBT/TFWT ratio over the vegetation period for sunflower was 0.21.

Figure 5 provides the nature of tritium distribution in parts of sunflower at root uptake at the end of the vegetation period.

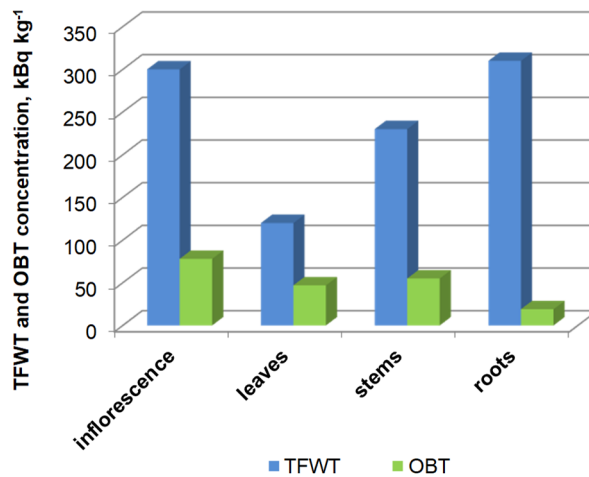


Figure 5. Tritium distribution in sunflower parts

As seen from Figure 4, at root uptake of tritium the distribution of TFWT and OBT in parts of sunflower is different. For example, the TFWT activity decreases in the series “roots>inflorescences>stems>leaves”, and that of OBT — in “inflorescences>stems>leaves>roots”. According to earlier studies [16], at aerial HTO uptake, tritium distribution is opposite, and maximum activity concentrations of TFWT and OBT are observed in aboveground plant parts. This fact indicates that tritium distribution in the plant is affected by radionuclide pathway.

The translocation index at root uptake of tritium was 65 %, which is almost 2 times higher than a similar value at aerial uptake of the radionuclide [16].

Conclusions

Experimental quantitative parameters of uptake and incorporation of tritium in the case of sunflower crop demonstrated that the TFWT activity depends on the activity level of tritium in the source whereas that of OBT is a quantity being dependent on plant vegetative growth.

Practical utility of research findings is that regularities established for tritium distribution in parts of sunflower and OBT/TFWT ratio values can be used in biomonitoring of contamination with tritium, in particular, to reveal the source of entry of this radionuclide into the environment. Values of translocation index derived for OBT to the yield can be used in assessing radiation exposure of the population living in nuclear facility impacted areas.

Acknowledgements

This research was funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08956713 “Research into radiation-hygienic hazard by man-made tritium when accumulated by crop products for assessing radiation exposure of the population”).

References

- Weinberg A.M. The future of nuclear energy / A.M. Weinberg // *Phys. Today*. — 1981. — Vol. 3 (34). — P. 48–56.
- Николин О.А. Тритий в водных экосистемах Уральского региона: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О.А. Николин. — Екатеринбург, 2008. — 22 с.
- Merphy C.E. Tritium transport around nuclear facilities / C.E. Merphy, C.W. Sweet, R.D. Fallon // *Nucl. Saf.* — 1999. — Vol. 23(6). — P. 77–684.
- Synzynys B.I. Radiological Problems of Tritium / B.I. Synzynys, O.A. Momot, O.A. Mirzeabasov, A.V. Zemnova, E.R. Lyapunova, Yu.M. Glushkov, A.A. Oudalova // XIII International Youth Scientific and Practical Conference “FUTURE OF ATOMIC ENERGY — Atom Future 2017”. — Obninsk, 2017. — P. 249–260. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1624>
- Boyer C. Tritium in plants: a review of current knowledge / C. Boyer, L. Vichot, M. Fromm, Y. Losset, F. Tatin-Froux, P. Guetat, P.M. Badot // *Environ. Exp. Bot.* — 2009. — Vol. 67 (1). — P. 34–51. <https://doi.org/10.1016/j.envexbot.2009.06.008>
- Garland J.A. Incorporation of tritium in grain plants / J.A. Garland, M. Ameen // *Health Phys.* — 1979. — Vol. 36. — P. 35–38.

- 7 Diabate S. Organically bound tritium / S. Diabate, S. Strack // Health Phys. — 1993. — Vol. 65 (6). — P. 698–712.
- 8 UNSCEAR Report. Annex C. Biological effects of selected internal emitters — Tritium. — New York, USA: United Nations, 2017. — P. 241–359.
- 9 Нарушева Е.А. Методы исследования в агрохимии: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки «Сельское хозяйство» / Е.А. Нарушева. — Саратов: Саратовская ГАУ, 2014. — 120 с.
- 10 Лукашенко С.Н. Patent № 29721/ С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, В.П. Зарембо. — 2015.
- 11 ISO 9698:2010. Качество воды. Определение объемной активности трития. Методы подсчета сцинтилляций в жидкой среде. — Астана: KazInSt, 2010. — 32 с.
- 12 Hui-fang S. Study of ratio of tritium concentration in plants water to tritium concentration in air moisture for chronic atmospheric release of tritium / S. Hui-fang, Y. Ren-tai // Energy Procedia. — 2011. — Vol. 5. — P. 2421–2425. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.416>
- 13 Sang-Bong K. Investigation into tritium behavior in Chinese cabbage and Rice after a short-term exposure of HTO / K. Sang-Bong, L. Myung-Ho, C. Gun-Sik // J. Korean Asso. Radiat. Prot. — 1998. — Vol. 23 (2). — P. 75–82.
- 14 Atarashi-Andoh M. Conversion rate of HTO to OBT in plants / M. Atarashi-Andoh, H. Amano, M. Ichimasa, Y. Ichimasa // Fusion Sci. Techn. — 2002. — Vol. 41 (3). — P. 427–431.
- 15 Strack S. Organically bound tritium formation and translocation in crop plants, modelling and experimental results / S. Strack, S. Diabat, J. Muller, W. Raskob // Fusion Techn. — 1995. — Vol. 28. — P. 951–956.
- 16 Поливкина Е.Н. Оценка аэрозольного поглощения НТО культурой *Helianthus Annuus* в условиях Семипалатинского испытательного полигона / Е.Н. Поливкина, Н.В. Ларионова, О.Н. Ляхова // Радиация и риск. — 2020. — № 1. — С. 79–89.
- 17 Якушкина Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтина. — М.: ВЛАДОС, 2004. — 312 с.

Е.Н. Поливкина, Л.Ф. Субботина, Ф.Ф. Жамалдинов

Күнбағыс дақылының тамырымен сіңіру кезінде тритийді инкорпорациялауды зерттеу

Мақалада күнбағыс дақылының (*Helianthus annuus* L.) тамырымен НТО *in vitro* сіңіру кезінде тритийдің инкорпорациялануына мөлшерлік баға берілген. Күнбағыспен тритий суы (НТО) түріндегі тритий радионуклидінің созылмалы түрде тамырмен сіңірілуі кезінде вегетация кезеңінде ОСТ/ТСВ арақатынасының орташа мәні 0,21 құрағаны анықталды. Тіндердің бос суындағы тритийдің (ТСВ) органикалық байланысқан тритийге (ОБТ) айналу жылдамдығы жапырақтану фазасында максимум 0,08-ден 0,044 % сағ⁻¹-ге дейін өзгерді. Тритий тамыр арқылы сіңірілгенде күнбағыс өніміне арналған транслокация индексі (ТЛИ) 65 % құрады. Тритийдің күнбағыс мүшелерінде тамырларымен ұзақ сіңуімен таралу сипаты ТСВ үшін — «тамырлар > гүлшоғыр > сабақтар > жапырақтар», ал ОСВ үшін — «гүлшоғыр > сабақтар > жапырақтар > тамырлар» қатарында азаяды. Тритийдің күнбағыс дақылының тамырымен сіңірілуі кезінде ТСВ меншікті белсенділігінің мәні тамырлармен сіңірілетін судағы радионуклидтің белсенділігімен тығыз байланысты ($r = 0,89$, $p < 0,05$). Күнбағыс мүшелерінде тритийдің таралуының белгіленген заңдылықтары және ОСТ/ТСВ арақатынасы ядролық отын циклі кәсіпорындарының импакт аумақтарындағы қоршаған ортаның тритиймен ластануының биомониторингі үшін қолданбалы мәнге ие.

Кілт сөздер: күнбағыс, тритий, тритийленген су, тамырдың сіңірілуі, ассимиляция, тритий тіндердің бос суындағы тритий, органикалық байланысқан тритий, конверсия коэффициенті, қатынас, транслокация индексі.

Е.Н. Поливкина, Л.Ф. Субботина, Ф.Ф. Жамалдинов

Исследование корневого поглощения трития культурой подсолнечника

В статье представлены результаты исследования корневого поглощения и ассимиляции трития культурой подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) в условиях модельного эксперимента. Установлено, что при длительном корневом поглощении изотопа трития в растения значения соотношения ОСТ/ТСВ в течение вегетационного цикла изменяются в диапазоне 0,1–0,27, среднее значение составило 0,21. Скорость образования органически связанной формы трития изменялась от 0,08 до 0,044 % ч⁻¹, достигая максимума в фазе облиствления подсолнечника. Индекс транслокации для культуры подсолнечника при корневом поступлении трития составил 65 %, что значительно выше (почти в 2,5 раза) по сравнению с аэральным поглощением радионуклида. Характер распределения трития по органам подсолнечника при хроническом корневом поглощении трития для ТСВ и ОСТ уменьшается в следующих рядах соответственно: корни>соцветия>стебли>листья и соцветия>стебли>листья>корни. В условиях корневого поступления трития в подсолнечник значения удельной активности ТСВ тесно коррелируют с удельной активностью изотопа в составе тритированной воды, использованной для по-

лива растений ($r = 0,89$, при $p < 0,05$). Выявленные закономерности поглощения, транслокации и распределения форм трития по органам подсолнечника имеют прикладное значение для биомониторинга тритиевого загрязнения окружающей среды на импактных территориях предприятий ЯТЦ.

Ключевые слова: подсолнечник, тритий, насыщенная тритием вода, корневое поглощение, ассимиляция, тритий свободной воды тканей, органически связанный тритий, коэффициент конверсии, соотношение ОСТ/ТСВ, индекс транслокации.

References

- 1 Weinberg, A.M. (1981). The future of nuclear energy. *Phys. Today*, 3 (34); 48–56.
- 2 Nikolin, O.A. (2008). *Tritium v vodnykh ekosistemakh Uralskogo regiona [Tritium in aquatic ecosystems of the Ural region]. Extended abstract of candidate's thesis.* Yekaterinburg [in Russian].
- 3 Merphy, C.E., Sweet, C.W., & Fallon, R.D. (1999). Tritium transport around nuclear facilities. *Nucl. Saf.*, 23(6); 77–684.
- 4 Synzynys, B.I., Momot, O.A., Mirzeabasov, O.A., Zemnova, A.V., Lyapunova, E.R., Glushkov, Yu.M., & Oudalova, A.A. (2018). Radiological Problems of Tritium. *XIII International Youth Scientific and Practical Conference "FUTURE OF ATOMIC ENERGY — Atom Future 2017"*. Obninsk, 249–260. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1624>
- 5 Boyer, C., Vichot, L., Fromm, M., Losset, Y., Tatin-Froux, F., Guetat, P., & Badot, P.M. (2009). Tritium in plants: a review of current knowledge. *Environ. Exp. Bot.*, 67 (1); 34–51. <https://doi.org/10.1016/j.envexbot.2009.06.008>
- 6 Garland, J.A., & Ameen, M. (1979). Incorporation of tritium in grain plants. *Health Phys.*, 36; 35–38.
- 7 Diabate, S. & Strack, S. (1993). Organically bound tritium. *Health Phys.*, 65 (6); 698–712.
- 8 (2017). *UNSCEAR Report. Annex C. Biological effects of selected internal emitters — Tritium.* New York, USA: United Nations, 241–359.
- 9 Narusheva, E.A. (2014). *Metody issledovaniy v agrokhimii: kratkii kurs lektzii dlia aspirantov napravleniia podgotovki «Selskoe khoziaistvo» [Research methods in agrochemistry: a short course of lectures for graduate students of the field of training "Agriculture"]*. Saratov: Saratov State Agrarian University [in Russian].
- 10 Lukashenko, S.N., Larionova, N.V., & Zarembo, V.P. (2015). Patent № 29721 [in Russian].
- 11 (2010). ISO 9698:2010. *Kachestvo vody. Opredelenie obemnoi aktivnosti tritiia. Metod podscheta stsintillatsii v zhidkoi srede [Water quality. Determination of the volumetric activity of tritium. Method of counting scintillations in a liquid medium]*. Astana: Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology [in Russian].
- 12 Hui-fang, S., & Ren-tai, Y. (2011). Study of ratio of tritium concentration in plants water to tritium concentration in air moisture for chronic atmospheric release of tritium. *Energy Procedia*, 5; 2421–2425. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.416>
- 13 Sang-Bong, K., Myung-Ho, L., & Gun-Sik, C. (1998). Investigation into tritium behavior in Chinese cabbage and Rice after a short-term exposure of HTO. *J. Korean Asso. Radiat. Prot.*, 23 (2); 75–82.
- 14 Atarashi-Andoh, M., Amano, H., Ichimasa, M., & Ichimasa, Y. (2002). Conversion rate of HTO to OBT in plants. *Fusion Sci. Techn.*, 41 (3); 427–431.
- 15 Strack, S., Diabat, S., Muller, J., & Raskob, W. (1995). Organically bound tritium formation and translocation in crop plants, modelling and experimental results. *Fusion Techn.*, 28; 951–956.
- 16 Polivkina, Ye.N., Larionova, N.V., & Lyahova, O.N. (2020). Otsenka aeralnogo pogloshcheniia NTO kulturoi *Helianthus Annuus* v usloviakh Semipalatinskogo ispytatelnogo poligona [Assessment of aerosol uptake of NTO by *Helianthus Annuus* culture in the conditions of the Semipalatinsk test site]. *Radiatsiia i risk — Radiation and Risk*, 1; 79–89 [in Russian].
- 17 Yakushkina, N.I., & Bahtina, Ye.Yu. (2004). *Fiziologiya rastenii [Physiology of plants]*. Moscow: VLADOS [in Russian].

Б.Н. Усенбеков^{1,2*}, А.К. Амирова^{1,3}, Х.А. Беркимбай^{2,4}, Е.А. Жанбырбаев⁴,
Д.Т. Казкеев⁴, У.Б. Жайсанкулова³, И.А. Сартбаева²

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

²Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан;

³Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

⁴Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: bakdaulet7@yandex.ru

Оценка исходного материала для получения риса с высоким содержанием амилозы

Рис — один из основных зерновых культур, имеющих стратегически важное значение. Потребление риса в Казахстане повышается, по сравнению с другими крупами, и достигает более 65 %. На сегодняшний день, в связи с увеличением импорта рисовой крупы, представляется актуальным развитие производства риса, повышение ее конкурентоспособности и создание отечественных сортов риса с улучшенными пищевыми и кулинарными качествами. Ключевым фактором, определяющим качество риса, является процентное содержание амилозы в крахмале зерновки риса. В связи с этим данная работа посвящена поиску доноров признака «высокое содержание амилозы» среди сортов и линий отечественной и зарубежной селекции в коллекции риса РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений». Скрининг 172 зарубежных и отечественных сортов и линий риса на содержание амилозы позволил идентифицировать 9 высокоамилозных сортообразцов, и среди них обнаружен один отечественный стародавний сорт казахстанской селекции «К3077 Казахи», который может послужить донором признака «высокое содержание амилозы». Однако некоторые зарубежные сортообразцы выпали из списка кандидатов, так как не успевают созреть в климатических условиях Казахстана из-за длинного вегетационного периода, в связи с этим отобраны всего шесть: «Мавр» (26,8 %), «Тайбонет» (25,4 %), «Паритет» (27,0 %), «К3612 Кара-Кылтык» (25,0 %), «К3077 Казахи» (25,1 %) и «Солнечный» (25,4 %). Названные выше сорта и линии риса с высоким содержанием амилозы будут использованы в качестве доноров признака «высокое содержание амилозы» для селекции риса.

Ключевые слова: рис, содержание амилозы, улучшение качества, отечественная и зарубежная селекция риса, сортообразцы, поиск доноров, климатические условия.

Введение

Рис (*Oryza sativa* L.) — вторая важная зерновая культура, которая уступает только пшенице, и служит основным продуктом питания для большинства людей во многих странах мира [1]. В связи с ростом численности населения на земле спрос на рис продолжает повышаться, и возрастает необходимость создания новых сортов риса с улучшенными пищевыми и вкусовыми качествами, высокой урожайностью и устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам [2]. В свою очередь, это требует постоянного обновления и расширения генетического базиса селекции риса [3, 4].

В последнее время исследования по улучшению качества риса привлекает все возрастающий интерес ученых разных стран-производителей риса [5, 6]. Необходимость улучшения качества риса связана с предпочтениями потребителей и получением прибыли производителями. Качество риса, в первую очередь, зависит от состава крахмала [7], которая состоит из двух типов полимеров: амилоза и амилопектин. Наиболее важным биохимическим показателем считается количество амилозы, которая оказывает влияние на качество риса. Сорта риса, в зависимости от содержания амилозы, делятся на глютинозные (0 %) и высокоамилозные (25–30 %). Встречаются некоторые сорта индийского подвида риса, где количество амилозы достигает до 35–37 % [8]. На амилопектин приходится оставшаяся часть крахмала зерновки риса и составляет 65–70 %. Несмотря на то, что содержание амилозы в крахмале зерновки риса ниже по сравнению со вторым полимером, амилопектином, именно амилоза определяет кулинарные свойства риса, такие как способность зерна к набуханию и стабилизации вязкости клейстеров. Амилоза обладает высокой клейстеризацией, чем больше содержание амилозы, тем выше диапазон температур клейстеризации (70–75 °С). Низкое содержание амилозы связано с мягкой текстурой, хорошей клейкостью и нежным и глянцевым внешним видом приготовленного риса. Высокий процент содержания амилозы приводит к жесткой текстуре и низкой вязкости, и после приготовления рис выглядит сухим, твердым, пушистым и рассыпчатым [9].

В зависимости от количества амилозы исследователи сорта риса подразделяют на: глютинозный (от 0 % до 2 %), неглютинозный (>2 %), очень низкоамилозный (от 2 % до 9 %), низкоамилозный (от 10 % до 19 %), среднеамилозный (от 20 % до 24 %), и высокоамилозный (>24 %) [8, 10].

Как известно, качество блюд из риса зависит от содержания амилозы в зерновке риса. Так, глютинозный рис, содержащий почти нулевой процент амилозы, используется в приготовлении таких блюд, как ризотто, паэлья и блюд детского и диетического питания, как десерты и закуски. Отмечено, что сорта риса с низкой амилозой (15–19 %) после варки становятся мягкими и липкими, к нему относятся все умеренные сорта риса *japonica* [9], которые подходят в основном для приготовления суши, ролл и т.д. [11]. Среднеамилозные сорта риса (20–24 %) характеризуются мягкой, но не клейкой текстурой [5], и применяются для приготовления каши, предпочитаемой большинством потребителей. Высокоамилозные сорта риса, где процент содержания амилозы составляет >24 %, используются в основном для приготовления таких блюд, как плов. Высокое содержание амилозы повышает качество риса, благодаря которому рис получается не липкий и сохраняет свою рассыпчатость и пушистость после приготовления, охлаждения и последующего разогревания плова, что является очень выгодным при приготовлении блюд из риса в кулинарии и ресторанах. Как видно из этого описания, чтобы удовлетворить кулинарные потребности разных потребителей, необходимы сорта риса с различными качествами.

Климатические условия в период формирования зерновки риса играют ключевую роль в накоплении и колебании содержания амилозы в сортах. Так, выявлено, что погодные условия при возделывании риса оказывают влияние на процент содержания амилозы, и последнее может варьировать в разные годы до 6 % для каждого определенного сорта [12, 13]. Низкая температура во время созревания зерна приводит к увеличению количества амилозы, а высокотемпературные климатические условия — к ее снижению [14–16].

Таким образом, одним из ключевых факторов, определяющих качество риса, является процент содержания амилозы. Так, высокое ее содержание приводит к улучшению кулинарных качеств риса. Данная работа посвящена поиску доноров признака «высокое содержание амилозы» среди сортов и линий отечественной и зарубежной селекции в коллекции риса ИББР для селекции риса с высоким содержанием амилозы.

Материалы и методы

Объектами исследования служили 172 сорта и линии риса отечественной и зарубежной селекции из коллекции риса РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» (РГП на ПХВ «ИББР»).

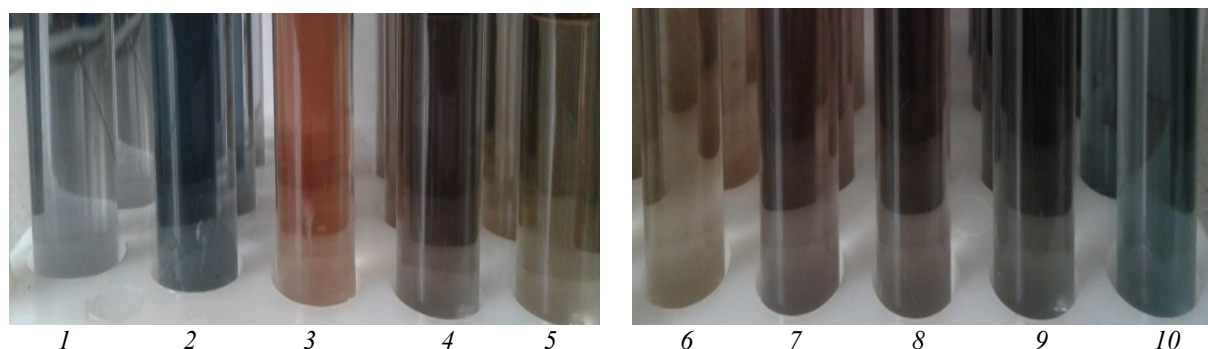
Количество амилозы в зерновке риса определяли общеизвестным методом Джулиано [17]. Для этого к 100 мг измельченной муки риса добавляли 1 мл этанола (96 %) и 9 мл 1N NaOH. Затем смесь нагревали на водяной бане (100 °С, 10 мин) и путем постоянного перемешивания доводили объем дистиллированной водой до 100 мл. Далее к 5 мл смеси каждого образца, тщательно перемешивая, добавляли 1 мл 1N уксусной кислоты и 2 мл йодного реагента (KI+J₂), и объем образцов доводили дистиллированной водой до 100 мл. После образцы оставляли на 20 мин в темноте. Содержание амилозы измеряли при $\lambda = 620$ нм на спектрофотометре GENESYS10 uv (ThermoSpectronic, USA).

Согласно методу Джулиано, крахмал при взаимодействии с йодом окрашивается в синий цвет в присутствии амилозы [18], а амилопектина — в красно-фиолетовый цвет, что позволяет отличить фракции амилопектина от фракции амилозы и выявить высокоамилозные и низкоамилозные сорта. Следует отметить низкое влияние амилопектина в эксперименте, так как максимум пропускания амилопектина $\lambda = 520$ –550 нм) [19].

Результаты исследований и их обсуждение

В нашем эксперименте в результате реакции крахмала с йодом получены цветные растворы, характеризующие разное процентное содержание амилозы в зависимости от сорта (см. рис.). Различные цвета окрашенных растворов указывают на разницу в процентном содержании амилозы в зависимости от сорта и линий риса.

На присутствие амилозы указывают различные оттенки синего, от светло-синего до синего цвета, которые приобретают растворы. При отсутствии и низком содержании амилозы раствор окрашивается от красноватого до коричнево-фиолетового цвета, что указывает на преобладание в растворе амилопектина, который обычно при реакции с йодом приобретает красно-фиолетовую окраску.



1 — «Красный рис» 26,28 % (Филиппины); 2 — «Стандарт» 30 %; 3 — «Виолетта» — 1,65 %; 4 — «Токаши Куроки» — 19,2 %; 5 — «Стандарт» 0 %; 6 — 5 %; 7 — 10 %; 8 — 15 %; 9 — 20 %; 10 — 25 %

Рисунок. Различные цвета окрашенных растворов в зависимости от процентного содержания амилозы в сортах риса

В данной работе, основываясь на классификации риса по содержанию амилозы, предложенной в работе Э.Ю. Папуловой [8], проводили разделение сортов и линий.

В результате первого этапа скрининга 88 сортов и линий риса было установлено, что в коллекции риса РГП на ПХВ «ИББР» преобладают низкоамилозные, и наиболее малочисленны глютинозные и высокоамилозные сорта и линии [13].

Во втором этапе скрининга проанализировано еще 84 новых сортов и линий. Всего, в ходе проведенного двухэтапного скрининга на содержание амилозы, проанализировано 172 сорта и линии риса отечественной и зарубежной селекции, полный список которых приведен в таблице.

Т а б л и ц а

Содержание амилозы в сортообразцах (сорта, коллекционные образцы и линии) риса отечественной и зарубежной селекции из коллекции ИББР

Наименование	% амилозы	Оригинатор сорта и /или источник коллекционного образца и линий	Наименование	% амилозы	Оригинатор сорта и/или источник коллекционного образца и линий
I этап скрининга			II этап скрининга		
1	2	3	4	5	6
Виолетта	1,9	ВНИИ риса	Yatanamochi	0	Япония
Виола	1,8	ВНИИ риса	Бурый рис	0	-
He Tiang	2,8	Китай	Лебедь	0,8	Приморский НИИ СХ
Kuro-mochi	3,0	Япония	Дети ветра	1,3	Приморский НИИ СХ
Black rice	3,0	IRRI	Hokriku mochi	2,0	Япония
Чапсари	3,0	УзНИИ риса	Ouumochi	2,0	Япония
Изумруд	10,0	ВНИИ риса	К 3942	9,4	КазНИИ риса
Луговой	10,0	Приморский НИИ СХ	К 30-50	10,0	КазНИИ риса
Боярин	10,0	ВНИИ риса	Рубин	10,0	ВНИИ риса
Курчанка	10,0	ВНИИ риса	Ко 296	10,0	КазНИИ риса
Серпантин	10,2	ВНИИ риса	К-84-28	10,0	КазНИИ риса
Соната	10,3	ВНИИ риса	Лазурный	11,3	УзНИИ риса
Арборио	10,4	Италия	Sarasm	11,3	Таджикистан
Снежинка	11,7	ВНИИ риса	Mis 2013	11,4	Турция
Атлант	11,8	ВНИИ риса	Manyas Yildizi	11,7	Иран
Диамант	11,9	ВНИИ риса	Ивушка	11,6	ВНИИ риса
Командор	12,2	ВНИИЗК	4421 Halian Variety	11,7	Иран
9-09 линия	12,3	Приморский НИИ СХ	Bigaincise	12,0	Турция
Селениум	2,4	Италия	Tosya Gunesi	12,1	Турция
Deshan B	12,5	Китай	Павловский	12,1	ВНИИ риса
Yir 5815	12,5	Институт риса НААНУ	Колл. обр. 04-09.	12,3	Приморский НИИ СХ
11933	12,7	Приморский НИИ СХ	Крепыш	12,3	ВНИИ риса

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Рапан	12,8	ВНИИ риса	Арал 202	12,3	КазНИИ риса
Ханкайский 429	12,9	Приморский НИИ СХ	К 2822 Челябин	12,5	Азербайджан
Апрельский	13,2	ВНИИ риса	R 5524	12,9	КазНИИ риса
ВНИИР 10173	13,2	ВНИИ риса	Колл. обр. 34-09	13,4	Приморский НИИ СХ
Опытный	13,2	КазНИИЗиР	Красный микс	14,1	-
Гарант	13,3	ВНИИ риса,	Османчик	14,1	Турция
32-09 линия	13,3	Приморский НИИ СХ	ВНИИР 10177	14,2	ВНИИ риса
Ми-07-1055	13,3	Приморский НИИ СХ	Тугискен 1	14,2	КазНИИ риса
Yir 8458	13,4	Институт риса НААНУ	Южный	14,3	ВНИИЗК
4909 линия	13,5	Приморский НИИ СХ	Черный рис	14,7	Китай
Стрелец	13,5	ВНИИЗК	Пак Ли	14,8	КазНИИЗиР
Дарий 23	13,5	Приморский НИИ СХ	ВНИИР 10178	15,0	ВНИИ риса
Фонтан	13,6	ВНИИ риса	Ренар	15,3	ВНИИ риса
Регул	13,7	ВНИИ риса	She 1. Akidawara	15,3	Япония
Nogin	13,7	ВНИИ риса	КазЕр 6	15,4	КазНИИ риса
Спальчик	13,7	ВНИИ риса	Приозерный 61	16,1	Приморский НИИ СХ
Маржан	13,7	КазНИИ риса	Akidawara	16,1	Япония
Мадина	13,9	ИББР	К488 Токаши Куро-ки	16,1	Приморский край
Славянец	13,9	ВНИИ риса	К 487 Кырмызы	16,4	УзНИИ риса
Краснодар-ский 424	14,0	ВНИИ риса	Ай-Сауле	16,4	КазНИИ риса
Ми -07-980	14,1	Приморский НИИ СХ	Дружный	16,5	ВНИИ риса
Раздольный	14,2	ВНИИ риса	Odaebuyeo	16,5	Корея
Лидер	14,3	ВНИИ риса	Ко 298	16,6	КазНИИ риса
46-09	14,4	Приморский НИИ СХ	Ко 287	16,6	КазНИИ риса
S. Andrea	14,5	Италия	Jinbubyeo	16,7	Корея
Бальдо	14,8	Италия	Ко 183	16,9	КазНИИ риса
Кендзо ВИР	14,9	Институт риса НААНУ	Баканас-ский	17,1	ИББР
30-09	14,9	Приморский НИИ СХ	Ко 198	17,5	КазНИИ риса
Садко	15,0	Приморский НИИ СХ	Алтынай	17,7	ИББР
Анаит	15,2	ВНИИ риса	Кубояр	17,8	ВНИИЗК
Yir 1462	15,3	Институт риса НААНУ	К 4693 Sollano	18,4	Испания
Аметист	16,1	ВНИИ риса	Визит	18,5	ВНИИ риса
1-09 линия	16,1	Приморский НИИ СХ	Гулжахон	18,5	УзНИИ риса
Long Ting 175-2-09	16,1	Китай	К 3875 Акула	18,5	Азербайджан
Флагман	16,1	ВНИИ риса	К-01836	19,0	-
Янтарь	16,3	ВНИИ риса	Светлый	19,1	ВНИИЗК
10-09	16,5	Приморский НИИ СХ	Южанин	19,3	ВНИИЗК
Фишт	16,5	ВНИИ риса	К 5105 Садри	19,4	Иран
Новатор	16,6	ВНИИ риса	ВНИИР 5242	20,0	ВНИИ риса
58-09	16,6	Приморский НИИ СХ	Ко 395	20,1	Афганистан
Ароматный	16,9	ВНИИЗК	Арбалет	20,2	ВНИИ риса
Привольный 04667	17,0	ВНИИЗК	К 584 Сары-Кылчик	20,6	Азербайджан
Дунай	17,0	ВНИИЗК	К 4694 Valocco	20,8	Испания
29-09	17,3	Приморский НИИ СХ	НВ 9106	21,1	IRRI
Лиман	17,3	ВНИИ риса	К 2483 Хоккайдо	21,1	Таджикистан
Шарм	17,4	ВНИИ риса	Гала	21,1	ВНИИ риса
Лазурный	17,4	УзНИИ риса	Ходжа Ахмет	21,2	Таджикистан
КазНИИР 5	17,6	КазНИИ риса	Девзира	21,3	Узбекистан (стародав.)
Мустакилик	18,0	УзНИИ риса	К 1323	21,4	Узбекистан
Гулжахон	18,0	УзНИИ риса	MSB 2	21,7	КазНИИ риса
Хазар	18,4	ВНИИ риса	Кубанский	21,8	ВНИИ риса
Истикбол	18,5	УзНИИ риса	Ко 245	22,4	КазНИИ риса
УзРос 7/13	18,5	УзНИИ риса	К 3830 Палачи	22,8	КазНИИ риса
Авангард	18,5	УзНИИ риса	НВ-1 black rice	23,0	КазНИИ риса
Кубань 3	18,7	ВНИИ риса	Красный рис	23,2	IRRI,

1	2	3	4	5	6
Истиклол	19,0	УзНИИ риса	К 3903 Дин-Сян	23,4	Китай
Искандар	19,6	УзНИИ риса	К3612 Кара-Кылтык	25,0	УзНИИ риса
Спринт	19,6	ВНИИ риса	К3077 Казахи	25,1	Казахстан (стар\дав.с.)
Образец Алексеевко	20,0	ВНИИ риса	НВ 9093	25,1	IRRI
Ару	20,6	КазНИИ риса	Солнечный	25,4	ВНИИ риса
Баракат	21,1	Китай	Ко 293	27,0	IRRI
Акдала	21,1	ИББР	НВ 9114	27,0	IRRI
Илгор	22,8	УзНИИ риса			
Мавр	26,8	ВНИИ риса			
Тайбонет	25,4	США			
Паритет	27,0	ВНИИ риса			

Согласно классификации Э.Ю. Папуловой [8], изученные нами 172 сорта и линии риса были разделены по содержанию амилозы на группы. В результате обнаружено, что в коллекции риса глютинозные составляют 3,5 %, очень низкоамилозные — 3,5 %, низкоамилозные — 74,4 %, среднеамилозные — 13,4 % и высокоамилозные — 5,2 %. Как видно из результатов, коллекционный материал риса РГП на ПХВ «ИББР» состоит в основном из низкоамилозных и среднеамилозных сортов и линий. Преобладающее большинство в коллекции составляют низкоамилозные (74,0 %), а высокоамилозные сорта и линии встречаются в наименьшем количестве (5,2 %). Имеющиеся в коллекции все высокоамилозные сорта и линии принадлежат зарубежной селекции, кроме одного отечественного стародавнего сорта казахстанской селекции «К3077 Казахи», который может служить одним из доноров признака «высокое содержание амилозы».

Всего, в результате двух этапов скрининга сортов и линий из коллекции риса РГП на ПХВ «ИББР» выделены 9 высокоамилозных сортов и линии: «Мавр» (26,8 %) «Тайбонет» (25,4 %) и «Паритет» (27,0 %), «К3612 Кара-Кылтык» (25,0 %), «К3077 Казахи» (25,1 %), «НВ 9093» (25,1 %), «Солнечный» (25,4 %), «Ко293» (27,0 %) и «НВ 9114» (27,0 %).

Однако вегетационный период некоторых зарубежных сортов и линий не соответствует климатическим условиям Казахстана, и не успевают созревать. Так, районы рисосеяния Алматинской области не совсем подходят для созревания риса, здесь поспевают в основном только раннеспелые сорта риса с периодом вегетации 100–105 дней. В связи с этим в качестве доноров признака «высокое содержание амилозы» для селекционных работ из девяти идентифицированных сортов и линий отобраны шесть: «Мавр», «Тайбонет», «Паритет 04059», «К3612 Кара-Кылтык», «К3077 Казахи» и «Солнечный».

Как известно, в своих работах многие известные ученые-селекционеры (Р. Бейкуэлл, В.С. Путовойт и П.П. Лукьяненко) придерживались правила селекции «скрещивайте только лучшее с лучшим...» [20–22], и мы считаем, что целесообразно будет проводить гибридизацию отобранных нами высокоамилозных сортов и линий риса между собой. Однако содержание амилозы — признак полигенной природы и стабилизируется только в F₆-F₇ поколениях [23]. Наряду с использованием методов традиционной селекции в целях ускорения селекционного процесса будут применены методы гаплоидной биотехнологии, что позволит стабилизировать линии с интересующим нас признаком «высокое содержание амилозы» в F₂-F₃ поколениях.

Если рассмотреть по странам, то можно заметить отличие и интенсивность проводимых исследований в зависимости от предпочтений традиционной кухни разных стран. Сорта и линии риса из ВНИИ риса и Приморского НИИСХ, содержащиеся в коллекции риса РГП на ПХВ «ИББР», охватывают все пять групп по содержанию амилозы, что указывает на масштабность проводимых исследований российскими селекционерами по улучшению качества риса. В коллекции встречаются сорта и линии из УзНИИ риса, которые по содержанию амилозы находятся приблизительно на одном уровне 17,4–19,6 % (низкоамилозные сортообразцы), имеются один среднеамилозный сорт «Илгор» (22,8 %) и высокоамилозный сортообразец К3612 Кара-Кылтык» (25,0 %). В коллекции также содержатся глютинозные и низкоамилозные сорта и линии из Японии, что характерно для традиционной кухни этой страны. Среди 23 сортов и линий риса казахстанской селекции преобладают низкоамилозные 69,6 %, в небольшом количестве встречаются среднеамилозные — 26,0 % и выявлено отсутствие сортов с

высоким содержанием амилозы, кроме одного стародавнего казахского сорта «К3077 Казахи» (25,1 %).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что сорта с высоким содержанием амилозы отсутствуют в отечественном селекционном материале. В Казахстане проживает много национальностей, и поскольку традиционная кухня разных национальностей отличается, требуется создание сортов риса с различными вкусовыми и кулинарными качествами. Потребление риса в нашей стране выше по сравнению с другими зерновыми культурами. На сегодняшний день импорт риса разных качеств увеличивается, в основном, завозят глютинозный рис для детского и диетического питания и высокоамилозный рис, который используется для приготовления плова. Необходимость проведения исследований по выведению линий для создания казахстанских сортов риса с улучшенными пищевыми и кулинарными качествами продиктована отсутствием сортов с высоким содержанием амилозы. Развитие производства риса, повышение его конкурентоспособности являются актуальными для отечественной селекции риса.

Заключение

В целом, в ходе проведенного двухэтапного скрининга на содержание амилозы проанализировано 172 сортов и линий риса отечественной и зарубежной селекции из коллекции риса РГП на ПХВ «ИББР». Согласно классификации по содержанию амилозы среди коллекционного материала риса преобладают низкоамилозные (74,4 %), затем следуют среднеамилозные (13,4 %), и в незначительном количестве высокоамилозные (5,2 %), глютинозные (3,5 %) и очень низкоамилозные (3,5 %) сортообразцы.

Всего, в результате идентифицировано 9 высокоамилозных сортов и линии: «Мавр» (26,8 %), «Тайбонет» (25,4 %), «Паритет» (27,0 %), «К3612 Кара-Кылтык» (25,0 %), «К3077 Казахи» (25,1 %), «НВ 9093» (25,1 %), «Солнечный» (25,4 %), «Ко293» (27,0 %), «НВ 9114» (27,0 %). Из-за того, что не все зарубежные сорта созревают в климатических условиях Казахстана для селекционных работ в качестве доноров признака «высокое содержание амилозы» из девяти идентифицированных отобраны шесть: «Мавр», «Тайбонет», «Паритет 04059», «К3612 Кара-Кылтык», «К3077 Казахи» и «Солнечный». Один из них стародавний сорт казахстанской селекции «К3077 Казахи».

Статья выполнена в рамках проекта ГФ5/АР 05132714 «Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические основы получения отечественных сортов риса с окрашенным перикарпом» (МОН РК).

Список литературы

- 1 Khush G.S. What it will take to feed five billion rice consumers by 2030 / G.S. Khush // Plant Mol. Biol. — 2005. — Vol. 59. — P. 1–6.
- 2 Ansari M. Genetic improvement of rice for biotic and abiotic stress tolerance / M. Ansari, T. Shaheen, S.A. Bukhari, T. Husnain // Turkish Journal of Botany. — 2015. — Vol. 39. — P. 911–919.
- 3 Lu B.R. Diversity of rice genetic resources and its utilization and conservation / B.R. Lu // Chinese Biodiversity. — 1998. — Vol. 6(1). — P. 63–72.
- 4 Singh B.P. Genetic diversity and population structure in Indian wild rice accessions / B.P. Singh, B. Singh, S. Mishra, V. Kumar, N.K. Singh // Australian Journal of Crop Science. — 2016. — Vol. 10(2). — P. 144–151.
- 5 Jin L. Molecular marker assisted selection for improvement of the eating, cooking and sensory quality of rice (*Oryza sativa* L.) / L. Jin, Y. Lu, Y. Shao, G. Zhang, P. Xiao, S. Shen, H. Corke, J. Bao // Journal of Cereal Science, 2010. — Vol. 51(1). — P. 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.007>
- 6 Zhou P.H. Simultaneous improvement for four quality traits of Zhenshan 97, an elite parent of hybrid rice, by molecular marker-assisted selection / P.H. Zhou, Y.F. Tan, Y.Q. He, C.G. Xu, Q. Zhang // Theoretical and Applied Genetics. — 2003. — Vol. 106. — P. 326–331.
- 7 Umemoto T. Rice starch properties and eating quality of cooked rice affected by starch synthase variations / T. Umemoto, T. Horibata, N. Aoki, M. Hiratsuka, M. Yano, N. Inouchi // Plant Prod. Sci. — 2008. — Vol. 11. — P. 472–480.
- 8 Папулова Э.Ю. Характеристика исходного материала риса в целях создания сортов с высоким содержанием белка и средним содержанием амилозы в зерновке / Э.Ю. Папулова // Науч. журн. КубГАУ. — 2011. — № 70(06). — С. 1–11. <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/23.pdf>
- 9 Zhu C.L. Progresses in researches of the application of low-amylose content rice gene for breeding / C.L. Zhu, W.B. Shen, H.Q. Zhai, J.M. Wan // Zhongguo Nongye Kexue (Agricultural Sciences in China). — 2004. — Vol. 3(2). — P. 81–88.

- 10 Cheng A. Simple and Rapid Molecular Techniques for Identification of Amylose Levels in Rice Varieties / A. Cheng, I. Ismail, M. Osman, H. Hashim // *Int. J. Mol. Sci.* — 2012. — Vol. 13. — P. 6156–6166. <https://doi.org/10.3390/ijms13056156>
- 11 Wang C. Development of a New japonica Rice Variety Nan-jing 46 with Good Eating Quality by Marker Assisted Selection / C. Wang, Y. Zhang, Z. Zhu, T. Chen, L. Zhao, J. Lin, L. Zhou // *Rice Genomics and Genetics.* — 2010. — Vol. 1(3). <http://rgg.sophiapublisher.com>
- 12 Juliano B.O. Quality Characteristics of Milled Rice Grown in Different Countries // In IRRRI Research Paper Series, 48th International Rice Research Institute / B.O. Juliano, C.G. Pascual. — Los Baños, Philippines, 1980. — 25 p.
- 13 Сартбаева И.А. Скрининг сортообразцов риса российской и казахстанской селекции на содержание амилозы / И.А. Сартбаева, Б.Н. Усенбеков, Л.К. Мамонов, Г.Л. Зеленский, К.М. Булатова // *Зерновое хозяйство России. Теор. и науч.-практ. журн.* — 2013. — № 6 (30). — С. 12–16.
- 14 Chen M. Waxy gene halotypes: Associations with apparent amylose content and the effect by the environment in an international rice germplasm collection / M. Chen, C. Bergman, S. Pinson, R. Fjellstrom // *J. Cereal Sci.* — 2008. — Vol. 47. — P. 536–545.
- 15 Hirano H.Y. Enhancement of Wx gene expression and the accumulation of amylose in response to cool temperatures during seed development in rice / H.Y. Hirano, Y. Sano // *Plant Cell Physiol.* — 1998. — Vol. 39. — P. 807–812.
- 16 Chun A. Effects of ripening temperature on starch structure and gelatinization, pasting, and cooking properties in rice (*Oryza sativa*) / A. Chun, H.J. Lee, B.R. Hamaker, S. Janaswamy // *J. Agric. Food Chem.* — 2015. — Vol. 63 (12). — P. 3085–93. <https://doi.org/10.1021/jf504870p>
- 17 Juliano B.O. A simplified assay for milled-rice amylase / B.O. Juliano // *Cer. Sci. Today.* — 1971. — Vol. 16 (10). — P. 334–340.
- 18 Никольский Б.П. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. Т. 1. Раздел: Химия и химическая промышленность / Б.П. Никольский. — М.: ГУУ, 2001. — 248 с.
- 19 Закирова А.Ш. Применение фотокolorиметрического метода для количественного определения амилозы в крахмале / А.Ш. Закирова, Д.Ш. Ягофаров, А.В. Канарский, Ю.Д. Сидоров // *Вестн. Казан. технолог. ун-та.* — 2011. — Т. 14, № 10. — С. 195–199.
- 20 Пустовойт В.С. Урожайность подсолнечника и пути ее повышения в процессе селекции / В.С. Пустовойт, А.Б. Дьяков // *Селекция и семеноводство.* — 1971. — № 1. — С. 25–30.
- 21 Бейкуэлл Р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/8b62109b-62da-3119-30fb-f9fe38f8a561/10002_95A.htm
- 22 Лукьяненко П.П. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agro-portal.su/pshenica/2090-podbor-sortov-dlya-kombinacion-noy-i-mutacion-noy-selekcii.html>; <http://www.endic.ru/colier/Selekcija-5970.html>
- 23 Аbugалиева А.И. Качество зерна риса в Казахстане и идентификация генотипов по электрофоретическим спектрам оризина и оризенина / А.И. Аbugалиева // *Генетические ресурсы культурных растений: Материалы конф.* — СПб., 2009. — С. 240–243.

Б.Н. Усенбеков, А.К. Әмірова, Х.Ә. Беркімбаев, Е.А. Жанбырбаев,
Д.Т. Казкеев, Ү.Б. Жайсанкулова, И.А. Сартбаева

Амилозасы жоғары күріш алу үшін бастапқы материалды бағалау

Күріш — стратегиялық маңызы бар негізгі дәнді дақылдардың бірі. Қазақстанда күрішті тұтыну басқа жармалармен салыстырғанда жоғары және 65 % -дан асады. Бүгінгі күні күріш жармасы импортының ұлғаюына байланысты күріш өндірісін дамыту, оның бәсекеге қабілеттілігін арттыру, тағамдық және аспаздық қасиеттері жақсартылған отандық күріш сорттарын шығару өзекті мәселе болып отыр. Күріштің сапасын анықтайтын негізгі фактор күріш дәнінің крахмалындағы амилозаның пайыздық мөлшері болып табылады. Осыған байланысты бұл жұмыс «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының» ШЖҚ РМК («ИББР») ШЖҚ РМК күріш коллекциясындағы отандық және шетелдік селекцияның сорттары мен линиялары арасында «амилозаның жоғары мөлшері» белгісінің донорларын іздеуге арналған. Күріштің 172 шетелдік және отандық сорттары мен линияларына амилоза мөлшері бойынша скрининг жүргізу 9 жоғары амилозалы сортүлгілерді анықтауға мүмкіндік берді және оның ішінде «амилоза мөлшері жоғары» белгісінің доноры бола алатын қазақстандық селекциясының ескі отандық сорты К3077 табылды. Алайда кейбір шетелдік сорттар вегетациялық кезеңінің ұзақтығына байланысты Қазақстанның климаттық жағдайында пісіп үлгермейтіндіктен үміткерлер тізімінен шығып қалды, олардың тек алтауы ғана таңдалды: Мавр (26,8 %), Тайбонет (25,4 %), Паритет (27, 0 %), К3612 Қара-Қылтық (25,0 %), К3077 Қазақ (25,1 %) және Солнечный (25,4 %). Іріктеп алынған амилоза мөлшері жоғары күріш сорттары мен линиялары «амилозаның мөлшері жоғары» белгісі бар донор ретінде күріш селекциясында пайдаланылатын болады.

Кілт сөздер: күріш, амилоза, сапаны жақсарту, отандық және шетелдік күріш селекциясы, күріш сорттары, климаттық жағдайлар.

B.N. Usenbekov, A.K. Amirova, Kh.A. Berkimbay, Ye.A. Zhanbyrbayev,
D.T. Kazkeev, U.B. Zhaisankulova, I.A. Sartbayeva

Evaluation of initial material for the obtaining of high-amylose rice

Rice is one of the main crops of strategic importance. Rice consumption in Kazakhstan is increasing compared to other cereals and reaches more than 65 %. Today, due to the increase in imports of rice cereals, it seems relevant to develop rice production, increase its competitiveness, and create domestic rice varieties with improved nutritional and culinary qualities. A key factor in determining the quality of rice is the percentage of amylose in the starch of the rice grain. In this regard, this work is devoted to the search for donors of the trait “high amylose content” among varieties and lines of domestic and foreign breeding in the rice collection of the RSE on the REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” (RSE on the REM “IPBB”). Screening of 172 foreign and domestic varieties and lines of rice for amylose content made it possible to identify 9 high-amylose variety samples. Among them one domestic ancient variety of Kazakh selection K3077 Kazakhi was found, which can serve as a donor of the trait “high amylose content”. Because of the climatic conditions of Kazakhstan and the long growing season, only six foreign varieties and lines were selected: Mavr (26.8 %), Taibonet (25.4 %), Parity (27, 0 %), K3612 Kara-Kylyk (25.0 %), K3077 Kazakhs (25.1 %), and Solnechny (25.4 %). The selected varieties and lines of rice with a high content of amylose will be used as donors of the “high amylose content” trait for rice breeding.

Keywords: rice, amylose content, improvement of rice quality, rice varieties of domestic and foreign breeding, variety, climatic conditions.

References

- 1 Khush, G.S. (2005). What it will take to feed five billion rice consumers by 2030. *Plant Mol. Biol.*, 59; 1–6.
- 2 Ansari, M., Shaheen, T., Bukhari, S.A., & Husnain, T. (2015). Genetic improvement of rice for biotic and abiotic stress tolerance. *Turkish Journal of Botany*, 39; 911–919.
- 3 Lu, B.R. (1998). Diversity of rice genetic resources and its utilization and conservation. *Chinese Biodiversity*, 6(1); 63–72.
- 4 Singh, B.P., Singh, B., Mishra, S., Kumar, V., & Singh, N.K. Genetic diversity and population structure in Indian wild rice accessions. *Australian Journal of Crop Science*, 10(2); 144–151.
- 5 Jin, L., Lu, Y., Shao, Y., Zhang, G., Xiao, P., Shen, S., Corke, H., & Bao, J. (2010). Molecular marker assisted selection for improvement of the eating, cooking and sensory quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, 51(1); 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.007>
- 6 Zhou, P.H., Tan, Y.F., He, Y.Q., Xu, C.G., & Zhang, Q. (2003). Simultaneous improvement for four quality traits of Zhenshan 97, an elite parent of hybrid rice, by molecular marker-assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 106; 326–331.
- 7 Umemoto, T., Horibata, T., Aoki, N., Hiratsuka, M., Yano, M., & Inouchi, N. (2008). Rice starch properties and eating quality of cooked rice affected by starch synthase variations. *Plant Prod. Sci.*, 11; 472–480.
- 8 Papulova, E.Yu. (2011). Kharakteristika iskhodnogo materiala risa v tseliakh sozdaniia sortov s vysokim sodержaniem belka i srednim sodержaniem amilozy v zernovke [Characterization of Rice Starting Material for High Protein, Medium Amylose Grain Varieties]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet — Research Journal of Kuban State Agrarian University*, 70(06); 1–11. <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/23.pdf> [in Russian].
- 9 Zhu, C.L., Shen, W.B., Zhai, H.Q., & Wan, J.M. (2004). Progresses in researches of the application of low-amylose content rice gene for breeding. *Zhongguo Nongye Kexue (Agricultural Sciences in China)*, 3(2); 81–88.
- 10 Cheng, A., Ismail, I., Osman, M., & Hashim, H. (2012). Simple and Rapid Molecular Techniques for Identification of Amylose Levels in Rice Varieties. *Int. J. Mol. Sci.*, 13; 6156–6166. <https://doi.org/10.3390/ijms13056156>
- 11 Wang, C., Zhang, Y., Zhu, Z., Chen, T., Zhao, L., Lin, J., & Zhou, L. (2010). Development of a New japonica Rice Variety Nan-jing 46 with Good Eating Quality by Marker Assisted Selection. *Rice Genomics and Genetics*, 1(3). <http://rgg.sophiapublisher.com>
- 12 Juliano, B.O., & Pascual, C.G. (1980). *Quality Characteristics of Milled Rice Grown in Different Countries*. In *IRRI Research Paper Series, 48th International Rice Research Institute*. Los Baños, Philippines.
- 13 Sartbaeva, I.A., Usenbekov, B.N., Mamonov, L.K., Zelenskii, G.L., & Bulatova, K.M. (2013). Skрининг sortoobraztsov risa rossiiskoi i kazakhstanskoi selektsii na sodержanie amilozy [Screening of Russian and Kazakh rice assortments for amylose content]. *Zernovoe khoziaistvo Rossii. Teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal — Grain industry of Russia. Theoretical and scientific-practical journal*, 6 (30); 12–16 [in Russian].
- 14 Chen, M., Bergman, C., Pinson, S., & Fjellstrom, R. (2008). Waxy gene halotypes: Associations with apparent amylose content and the effect by the environment in an international rice germplasm collection. *J. Cereal Sci.*, 47; 536–545.
- 15 Hirano, H.Y., & Sano, Y. (1998). Enhancement of Wx gene expression and the accumulation of amylose in response to cool temperatures during seed development in rice. *Plant Cell Physiol.*, 39; 807–812.

16 Chun, A., Lee, H.J., Hamaker, B.R., & Janaswamy, S. (2015). Effects of ripening temperature on starch structure and gelatinization, pasting, and cooking properties in rice (*Oryza sativa*). *J. Agric. Food Chem.*, 63(12); 3085–93. <https://doi.org/10.1021/jf504870p>

17 Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylase. *Cer. Sci. Today*, 16(10); 334–340.

18 Nikolskii, B.P. (2001). *Spravochnik khimika 21. Khimiia i khimicheskaia tekhnologiia. Tom 1. Razdel: Khimiia i khimicheskaia promyshlennost [Chemist's Handbook 21. Chemistry and chemical technology. Volume 1. Section: Chemistry and Chemicals]*. Moscow: Gosudarstvennyi universitet upravleniia [in Russian].

19 Zakirova, A.Sh., Iagofarov, D.Sh., Kanarskii, A.V., & Sidorov, Yu.D. (2011). Primenenie fotokolorimetriceskogo metoda dlia kolichestvennogo opredeleniia amilozy v krakhmale [Use of Photocolorimetric Method for the Assay of Amylose in Starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Bulletin of Kazan Technological University*, 14 (10); 195–199 [in Russian].

20 Pustovoit, V.S., & Diakov, A.B. (1971). Urozhainost podsolnechnika i puti ee povysheniia v protsesse selektsii [Sunflower yield and ways to increase it during breeding]. *Selektsiia i semenovodstvo — Selection and seed breeding*, 1; 25–30 [in Russian].

21 Beikuell, R. Retrieved from <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/8b62109b-62da-3119-30fb-f9fe38f8a561/1000295A.htm>

22 Lukianenko, P.P. Podbor sortov dlia kombinatsionnoi i mutatsionnoi selektsii [Collection of varieties for the combinational and mutational selection]. Retrieved from <http://agro-portal.su/pshenica/2090-podbor-sortov-dlya-kombinacion-noy-i-mutacion-noy-selekcii.html>; <http://www.endic.ru/colier/Selekcija-5970.html>

23 Abugalieva, A.I. (2009). Kachestvo zerna risa v Kazakhstane i identifikatsiia genotipov po elektroforeticheskim spektrami orizina i orizenina [Quality of rice grains in Kazakhstan and identification of genotypes by electrophoretic spectra of orizine and orizenine]. *Proceedings from Genetic Resources of Cultivated Plants '09: Konferentsiia – Conference*. Saint-Petersburg [in Russian].

А.А. Федоров¹, А.Б. Есжанов^{2*}¹ТОО «Научно-производственное объединение «Фауна», Алматы, Казахстан;²Институт зоологии, Алматы, Казахстан*Автор для корреспонденции: aidyn.eszhanov@gmail.com

Новые сведения по распространению скорпионов рода *Anomalobuthus* в Казахстане

Паукообразные (Arachnida) — обширный класс членистоногих беспозвоночных, насчитывающий 114 тыс. видов, при этом наиболее многочисленными по числу таксонов являются пауки (*Aranei*) и клещи (*Acari*). Паукообразные встречаются на всех континентах земного шара и являются второй по количеству таксонов группой после насекомых. Эта группа животных имеет высокое значение в функционировании экосистем, поскольку паукообразные играют важную роль в трофических цепях, а также являются переносчиками широкого спектра инфекций, в том числе особо опасных. Наконец, представители некоторых отрядов этих членистоногих являются ценными ядохлоуцентами. Тем не менее эта группа беспозвоночных изучена крайне неравномерно и зачастую сведения о различных видах паукообразных носят фрагментарный характер. Так, например, ранее считалось, что на территории Казахстана обитает лишь один монотипичный род с единственным видом — *Anomalobuthus rickmersi* (Краепелин, 1900), который был занесен в Красную Книгу страны. Однако, согласно последним данным, стало известно о выделении еще 3 видов этого рода для Казахстана. Вместе с тем имеющаяся информация о вновь описанных видах относится лишь к нескольким находкам в Казахстане, тогда как сведения по ареалу рода *Anomalobuthus* остаются малочисленными и фрагментарными. Данная статья представляет собой сообщение об обнаружении ранее неизвестного поселения скорпиона рода *Anomalobuthus* (предположительно *A. lowei* Teruel, 2018) на правом берегу р. Иле юго-восточного Казахстана, приводятся сведения о местности, где был обнаружен скорпион, его плотность.

Ключевые слова: скорпион, арахниды, беспозвоночные, вид, ареал, группа беспозвоночных, паукообразные, переносчик инфекций.

Введение

Паукообразные (Arachnida) — обширный класс членистоногих, второй после насекомых (Insecta), известно более 114 тыс. видов паукообразных, из них около 2 тысяч являются ископаемыми [1, 2]. Наиболее многочисленными по числу таксонов являются пауки (*Aranei*) — более 40 тысячи видов и клещи (*Acari*) — более 50 тысяч видов [2, 3]. Являясь второй по количеству таксонов группой после насекомых (Insecta), паукообразные (Arachnida) встречаются на всех континентах земного шара [3]. Занимая важное место в трофических цепях, а также являясь регуляторами численности насекомых и других беспозвоночных, арахниды имеют важное значение в функционировании многих экосистем [4–7], более того, многие виды паукообразных являются переносчиками широкого спектра зоонозных инфекций, в том числе особо опасных [8–11]. Наконец, представители некоторых отрядов этих членистоногих служат ценными ядохлоуцентами [12–14].

Для Казахстана приводится более тысячи видов арахнид, большая часть из которых приходится на пауков [3, 15], тогда как сведения по другим представителям этого класса носят фрагментарный характер [16–23]. Так, например, ранее считалось, что фауна скорпионов Казахстана представлена четырьмя видами — *Mesobuthus caucasicus*, *M. eupeus*, *Orthochirus scrobiculosus* и *Anomalobuthus rickmersi*, относящихся к семейству *Buthidae*. Однако, согласно последним данным, это не соответствует действительности, поскольку за последние десятилетия была пересмотрена систематика скорпионов, обитающих в данном регионе [21–25]. Последняя ревизия рода *Anomalobuthus*, который ранее считался монотипичным [23], выявила наличие не менее 6 видов этого рода, причем 3 из них описаны для Казахстана [24] (рис. 1).

Представители рода *Anomalobuthus* (рис. 2) — это скорпионы небольшого размера, длиной тела до 40 мм, которые относятся к семейству *Buthidae*, тяготеют к песчаным массивам, поскольку являются ярко выраженными псаммофилами, в Центральной Азии и Казахстане этот род распространен мозаично [23–25], а *Anomalobuthus rickmersi* ранее был занесен в Красную книгу Республики Казахстан [26]. Ниже приводятся сведения об обнаруженном до сих пор неизвестном поселении скорпиона

рода *Anomalobuthus* (предположительно *A. lowei* Teruel, 2018) на правом берегу р. Иле юго-восточного Казахстана.

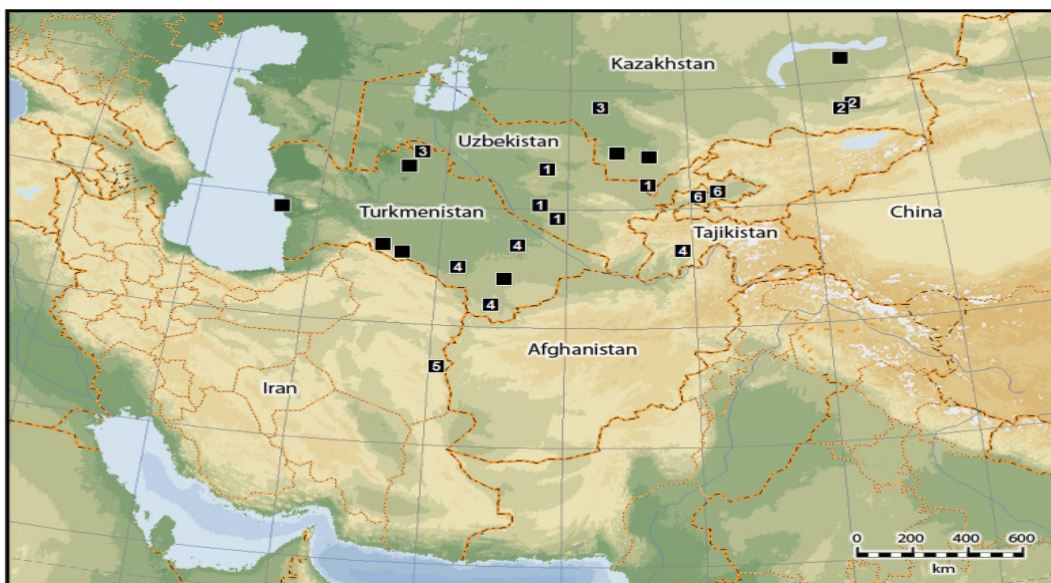


Рисунок 1. Распространение рода *Anomalobuthus*, по Teruel R., Kovařík F., Fet V. [47], *A. krivochatskyi* sp. n. (1), *A. lowei* sp. n. (2), *A. pavlovskyi* sp. n. (3), *A. rickmersi* (4), *A. talebii* (5), *A. zarudnyi* comb. n. (6).



Рисунок 2. Скорпион *Anomalobuthus lowei*

Материалы и методы исследования

Полевые работы проводились в 2020–2021 гг. на правом берегу р. Иле, в ее среднем течении, 180 км выше Капшагайской ГЭС, в песках Кумкала. Ландшафт представлял собой мозаику из бугристо-грядовых песков, высотой 514–533 м над уровнем моря. Гряды песков чередовались вкраплениями равнинных глинисто-лессовых участков с обильно растущими ксерофитными и мезофитными растениями: черный (*Haloxylon aphyllum*) и белый саксаул (*H. persicum*), джужгун (*Calligonum aphyllum*), турангой сизолистной (*Populus pruinosa*) и т.д. (рис. 3).

Рисунок 3. Места обитания *Anomalobuthus lowei* в песках Кумкала

Учеты и сбор арахнид проводились различными способами, так геобионты учитывались с помощью ловушек Барбера [27], ловушки выставлялись в линию поперек элементов ландшафта, при этом дистанция между орудиями лова составляла 10 м. Тамно- и хортобионты учитывались при помощи энтомологического сачка [28].

Поиск паукообразных с сумеречно-ночной активностью (сем. *Lycosidae*, *Buthidae*, *Galeodidae*) проводился с закатом солнца, приблизительно в 21:00 и продолжался до 5:00, при этом использовались светодиодные налобные фонари (CREE XM-L T6) и ручные фонари с ультрафиолетовым светом (Hitachi F6T5 BL). Учеты арахнид проводились трансектами, а ширина учетной полосы составляла порядка 30 м, тогда как общая протяженность маршрута составила 151 м, а общая площадь, покрытая учетами, равнялась 284 м². Траектория учетов и координаты локаций, на которых были отмечены скорпионы, сохранялась на Garmin 64S, после чего заносились в базу данных в BaseCamp и Excel. Обнаруженные паукообразные собирались энтомологическим аспиратором либо пинцетом и фиксировались в 70 % растворе этилового спирта, за исключением скорпионов рода *Anomalobuthus*, поскольку ранее этот род скорпионов считался монотипичным и находился в Красной книге Казахстана [25, 26]. Таким образом, все обнаруженные нами скорпионы рода *Anomalobuthus* не изымались из природы, напротив, обследование животных проводили витально, определялся их пол (самец, самка) и возраст (ювенильные, половозрелые), при наличии особого поведения (половое и охотничье поведение, поедание жертв и т.д.) информация заносилась в журнал наблюдений. Наличие скорпионов на местности также определялось по остаткам кутикулы, личным шкуркам и т.д.

Результаты и обсуждение

В ходе обследования песчаного массива Кумкала, близ территории ГНПП «Алтын Эмель» вдоль северного побережья Капшагайского водохранилища, были обнаружены места обитания скорпионов (см. табл.). Всего было отмечено 46 особей *A. lowei*, наибольшая его концентрация отмечалась у тригопункта № 523, а средняя плотность составила 0,2 особей на 1 м². При этом стоит отметить, что преимущественно отмечались ювенильные особи — 29 (63 %), тогда как адультиные составляли 36 %, или 17 особей.

В ходе учетов удалось проследить охотничье поведение скорпионов. Так, были отмечены сцены охоты этих хищников на личинок муравьиных львов (сем. *Myrmeleontidae*) и муравьев-жнецов *Messor sp.* Во время охоты скорпионы затаивались, не совершая никаких движений продолжительное время, периодически размахивая хвостом (метасомой) из стороны в сторону, затем после обнаружения жертвы стремительно бросались на нее. Причем, в случаях, когда жертвой были личинки муравьиных львов, скорпионы выхватывали их из воронок-укрытий.

Т а б л и ц а

Точки обнаружения *Anomalobuthus lowei*

№ точки	Координаты		Примечания
1	N43°56.604'	E79° 16.526'	Бугристо-грядовые пески, пески Кумкала правобережья р. Иле
2	N43°56.515'	E79° 15.737'	Бугристо-грядовые пески, пески Кумкала правобережья р. Иле

Заключение

Проведенная нами предварительная идентификация на основе морфологических признаков, а также литературные сведения о местах обнаружения скорпионов рода *Anomalobuthus* в Центральной Азии и Казахстане [25] позволяют предполагать, что обнаруженные нами скорпионы относятся к недавно описанному виду *A. lowei*. Так, ближайшей точкой, где был обнаружен и откуда описан *A. lowei*, является южный берег Капшагайского водохранилища [25]. Вместе с тем полученные данные о плотности и возрастном составе скорпионов позволяют утверждать, что на данном участке существует стабильная и полноценная популяция этого вида. Тем не менее, учитывая сложность таксономического положения представителей рода *Anomalobuthus* в Центральной Азии, мы считаем, что дальнейшая экспертиза поможет прояснить данный вопрос. Также остается открытым вопрос об охранном статусе вновь описанных скорпионов этого рода, поскольку ранее *A. rickmersi* считался видом, занесенным в Красную книгу РК.

Данная работа была выполнена в рамках проекта ИРН OR11465437 «Разработка национального электронного банка данных по научной зоологической коллекции Республики Казахстан, обеспечивающего их эффективное использование в науке и образовании».

Список литературы

- 1 Dunlop J.A. A summary list of fossil spiders and their relatives / J.A. Dunlop, D. Penney, D. Jekel // The world spider catalog. Version 16.0. — 2015. Retrieved from <https://wsc.nmbe.ch/resources/fossils/Fossils15.5.pdf>
- 2 Zhang Z.Q. Phylum Arthropoda. Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013) / Z.Q. Zhang // Zootaxa. — 2013. — Vol. 3703, No. 1. — P. 17–26.
- 3 World Spider Catalog (2021). World Spider Catalog. Version 22.5. Natural History Museum Bern. Retrieved from <http://wsc.nmbe.ch/>
- 4 Wise D.H. Spiders in ecological webs / D.H. Wise. — Cambridge University Press, 1995. — 246 p.
- 5 Nyffeler M. Field studies on the ecological role of the spiders as insect predators in agroecosystems (abandoned grassland, meadows, and cereal fields) / M. Nyffeler // Thesis PhD in Biology. — Zurich, 1982. — 155 p.
- 6 Reháček J. Ecological relationships between ticks and rickettsiae / J. Reháček // European journal of epidemiology. — 1989. — Vol. 5. — P. 407–413.
- 7 Hoogstraal H. Argasid and nuttalliellid ticks as parasites and vectors / H. Hoogstraal // Advances in parasitology. — 1985. — Vol. 24. — P. 135–238.
- 8 Bratton R.L. Tick-borne disease / R.L. Bratton, G.R. Corey // American family physician. — 2005. — Vol. 71, No. 12. — P. 2323–2330.
- 9 Randolph S.E. Tick-borne disease systems / S.E. Randolph // Rev sci tech Offint Epiz. — 2008. — Vol. 27, No. 2. — P. 1–15.
- 10 Perfilyeva Y. Tick-borne pathogens and their vectors in Kazakhstan—a review / Y. Perfilyeva, Zh.Zh. Shapiyeva, Y. Ostapchuk, A.M. Dmitrovsky // Ticks and Tick-borne Diseases. — 2020. — Vol. 11(5). — P. 101498. <https://doi.org/10.1016/j.tbbdis.2020.101498>
- 11 Knust B. Crimean-Congo hemorrhagic fever, Kazakhstan, 2009–2010 / B. Knust, Z.B. Medetov, K.B. Kyraubayev, K.S. Ospanov // Emerging infectious diseases. — 2012. — Vol. 18, No. 4. — P. 643–645. <https://doi.org/10.3201/eid1804.111503>
- 12 Jackson H. Spider toxins: recent applications in neurobiology / H. Jackson, T.N. Parks // Annual review of neuroscience. — 1989. — Vol. 12, No. 1. — P. 405–414.
- 13 Rádis-Baptista G. Arthropod venom components and their potential usage / G. Rádis-Baptista, B. Konno // Toxins. — 2020. — Vol. 12 (2). — P. 82. <https://doi.org/10.3390/toxins1200082>
- 14 Peigneur S. Toxins in drug discovery and pharmacology / S. Peigneur, J. Tytgat // Toxins. — 2018. — Vol. 10(3). <https://doi.org/10.3390/toxins10030126>
- 15 Logunov D.V. Spiders of Kazakhstan / D.V. Logunov, A.V. Gromov, V.A. Timokhanov. — Manchester, UK: Siri Scientific Press, 2012. — 232 p.
- 16 Marusik Y.M. New faunistic records of spiders from East Kazakhstan (*Arachnida: Aranei*) / Y.M. Marusik, D.V. Logunov // Arthropoda Selecta. — 2011. — Vol. 20, No. 1. — P. 57–63.
- 17 Fomichev A.A. New data on spiders (*Arachnida: Aranei*) of East Kazakhstan / A.A. Fomichev, Y.M. Marusik // Arthropoda Selecta. — 2013. — Vol. 22, No. 1. — P. 83–92.
- 18 Tchemeris A.N. Taxonomic notes on *Acanthomegabunus* Tsurusaki, Tchemeris & Logunov 2000 (*Arachnida: Opiliones: Phalangidae*), with a description of the new species *A. altaicus* sp. n. from the Altai Mountains of Russia and NE Kazakhstan / A.N. Tchemeris // Zootaxa. — 2015. — Vol. 3990, Mo. 4. — P. 567–574.

- 19 Gromov A.V. Solpugids of the genus *Eusimonia* Kraepelin, 1899 (*Arachnida: Solifugae, Karschiidae*) of Central Asia / A.V. Gromov // *Ekologia*. — 2000. — Vol. 19. — P. 79–86.
- 20 Hruskova-Martisova M. Biology of *Galeodescapius subfuscus* (*Solifugae, Galeodidae*) / M. Hruskova-Martisova, S. Pekar, A. Gromov // *The Journal of Arachnology*. — 2007. — Vol. 35, No. 3. — P. 546–551.
- 21 Gantenbein B. The first DNA phylogeny of four species of *Mesobuthus* (*Scorpiones, Buthidae*) from Eurasia / B. Gantenbein, V. Fet, A.V. Gromov // *The Journal of Arachnology*. — 2003. — Vol. 31, No. 3. — P. 412–420;
- 22 Fet V. Revision of the *Mesobuthus caucasicus* complex from Central Asia, with descriptions of six new species (*Scorpiones: Buthidae*) / V. Fet, F. Kovarik, B. Gantenbein, M.R. Graham // *Euscorpium*. — 2018. — No. 255. — P. 1–77. <https://doi.org/10.18590/euscorpium.2018.vol2018.iss255.1>
- 23 Teruel R. The first record of the genus *Anomalobuthus* Kraepelin, 1900 from Iran, with description of a new species (*Scorpiones: Buthidae*) / R. Teruel, F. Kovarik, S. Navidpour, V. Fet // *Euscorpium*. — 2014. — No. 192. — P. 1–10. <https://doi.org/10.18590/euscorpium.2014.vol2014.iss192.1>
- 24 Fet V. A new genus and species of psammophilic scorpion from eastern Iran (*Scorpiones: Buthidae*) / V. Fet, E.M. Capes, W.D. Sissom // *Scorpions*. — 2001. — P. 183–189.
- 25 Teruel R. Revision of the Central Asian scorpion genus *Anomalobuthus* Kraepelin, 1900, with descriptions of three new species and a generic synonymy (*Scorpiones: Buthidae*) / R. Teruel, F. Kovarik, V. Fet // *Euscorpium*. — 2018. — No. 270. — P. 1–45. <https://doi.org/10.18590/euscorpium.2018.vol2018.iss270.1>
- 26 Митяев И.Д. Удивительный мир беспозвоночных. По страницам Красной книги Казахстана / И.Д. Митяев, Р.В. Яценко, В.Л. Казенас. — Алматы: Алматыкітап, 2005. — 400 с.
- 27 Waage B.E. Trapping efficiency of carabid beetles in glass and plastic pitfall traps containing different solutions / B.E. Waage // *Fauna Nor.(B)*. — 1985. — Vol. 32. — P. 33–36.
- 28 Артохин К.С. Метод кошения энтомологическим сачком / К.С. Артохин // *Защита и карантин растений*. — 2010. — № 11. — С. 45–48.

А.А. Федоров, А.Б. Есжанов

Қазақстандағы *Anomalobuthus* тектес сарышаяндардың таралуы бойынша жаңа мәліметтер

Өрмекшітәрізділер (*Arachnida*) — буынаяқты омыртқасыздардың үлкен класы болып табылады, олардың саны 114 мың түрді құрайды, ал таксондардың саны жағынан ең көп саны — өрмекшілер (*Aranei*) және кенелер (*Acari*). Өрмекшітәрізділер жер шарының барлық континенттерінде кездеседі және таксондардың жәндіктерден кейінгі екінші үлкен тобы болып саналады. Жануарлардың бұл тобы экожүйелердің қызмет етуінде үлкен мәнге ие, өйткені өрмекшітәрізділер қоректік тізбекте маңызды рөл атқарады, сонымен қатар кең ауқымды инфекциялардың, соның ішінде әсіресе қауіпті инфекциялардың тасымалдаушысы болып табылады. Сондай-ақ бұл буынаяқтылардың кейбір отрядтарының өкілдері улы келеді. Осыған қарамастан, омыртқасыздардың бұл тобы өте біркелкі зерттелмеген және өрмекшітәрізділердің әртүрлі түрлері туралы ақпарат көбінесе үзінді түрінде кездеседі. Мысалы, бұрын Қазақстанның аумағында бір ғана түрі бар жалғыз монотипті тұқым — елдің Қызыл кітабына енгізілген *Anomalobuthus rickmersi Kraepelin, 1900* мекендейді деп есептелген. Дегенмен, соңғы мәліметтер бойынша, Қазақстан үшін осы тұқымдастың тағы 3 түрі бөлінгені белгілі болды. Сонымен қатар, жаңадан сипатталған түр туралы қолда бар ақпарат Қазақстандағы аздаған олжаға ғана қатысты, ал *Anomalobuthus* тұқымдасының таралу аймағы туралы ақпарат аз және үзінді түрінде кездеседі. Мақалада Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы Іле өзенінің оң жағалауында *Anomalobuthus* тұқымдасына жататын сарышаянның (болжам бойынша *A. lowei* Teruel 2018) бұрын белгісіз қонысы табылғаны туралы есеп берілген, сарышаян табылған аумақ туралы мәліметтер және оның таралу тығыздығы берілген.

Кілт сөздер: сарышаян, арахнидтер, омыртқасыздар, түр, ареал, омыртқасыздар тобы, өрмекшітәрізділер, инфекция тасымалдаушы.

A.A. Fedorov, A.B. Yeszhanov

New information on the distribution of scorpions of the genus *Anomalobuthus* in Kazakhstan

Arachnids (*Arachnida*) are an extensive class of arthropod invertebrates, numbering 114 thousand species, while the most numerous in terms of the number of taxa are spiders (*Aranei*) and ticks (*Acari*). Arachnids are found in all continents of the globe and are the second largest group of taxa after insects. This group of animals is of great importance in the functioning of ecosystems, since arachnids play an important role in

food chains, and are also vectors of a wide range of infections, especially dangerous ones. Finally, representatives of some orders of these arthropods are valuable venom producers. Nevertheless, this group of invertebrates has been studied unevenly, and information on various species of arachnids is often fragmentary. For example, it was previously believed that only one monotypic genus with a single species lives on the territory of Kazakhstan — *Anomalobuthus rickmersi* Kraepelin, 1900, which was included in the Red Book of the country. However, according to the latest data, it became known about the description of 3 more species of this genus for Kazakhstan. At the same time, the available information on the newly described species refers only to a few finds in Kazakhstan, while information on the range of the genus *Anomalobuthus* remains scarce and fragmentary. This article is a report on the discovery of a previously unknown settlement of a scorpion of the genus *Anomalobuthus* (presumably *A. lowei* Teruel 2018) on the right bank of the Ile River in Southeastern Kazakhstan, provides information about the area where the scorpion was found, and its density.

Keywords: scorpion, arachnids, invertebrates, species, area, group of invertebrates, arachnida, vector.

References

- 1 Dunlop, J. A., Penney, D. & Jekel, D. (2015). *A summary list of fossil spiders and their relatives. The world spider catalog. Version 16.0*. 2015. Electronic resource. Regime of access: <https://wsc.nmbe.ch/resources/fossils/Fossils15.5.pdf>
- 2 Zhang, Z.Q. (2013). Phylum Arthropoda. Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703 (1); 17–26.
- 3 World Spider Catalog (2021). World Spider Catalog. Version 22.5. Natural History Museum Bern. Retrieved from <http://wsc.nmbe.ch/>
- 4 Wise, D.H. (1995). *Spiders in ecological webs*. Cambridge University Press.
- 5 Nyffeler, M. (1982). Field studies on the ecological role of the spiders as insect predators in agroecosystems (abandoned grassland, meadows, and cereal fields). *Thesis PhD in Biology*. Zurich.
- 6 Reháček, J. (1989). Ecological relationships between ticks and rickettsiae. *European journal of epidemiology*, 5; 407–413.
- 7 Hoogstraal, H. (1985). Argasid and nuttalliellid ticks as parasites and vectors. *Advances in parasitology*, 24; 135–238.
- 8 Bratton, R.L., & Corey, G.R. (2005). Tick-borne disease. *American family physician*, 71 (12); 2323–2330.
- 9 Randolph, S.E. (2008). Tick-borne disease systems. *Rev sci tech Offint Epiz.*, 27 (2); P. 1–15.
- 10 Perfileyeva, Y., Shapiyeva, Zh.Zh., Ostapchuk, Y., & Dmitrovsky, A.M. (2020). Tick-borne pathogens and their vectors in Kazakhstan—a review. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11 (5); 101498. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101498>
- 11 Knust, B., Medetov, Z.B., Kyraubayev, K.B., & Ospanov, K.S. (2012). Crimean-Congo hemorrhagic fever, Kazakhstan, 2009–2010. *Emerging infectious diseases*, 18(4); 643–645. <https://doi.org/10.3201/eid1804.111503>
- 12 Jackson, H., & Parks, T.N. (1989). Spider toxins: recent applications in neurobiology. *Annual review of neuroscience*, 12(1); 405–414.
- 13 Rádis-Baptista, G., & Konno, B. (2020). Arthropod venom components and their potential usage. *Toxins*, 12(2); 82. <https://doi.org/10.3390/toxins1200082>
- 14 Peigneur, S., & Tytgat, J. (2018). Toxins in drug discovery and pharmacology. *Toxins*, 10 (3) <https://doi.org/10.3390/toxins10030126>
- 15 Logunov, D.V., Gromov, A.V., & Timokhanov, V.A. (2012). *Spiders of Kazakhstan*. Manchester, UK: Siri Scientific Press.
- 16 Marusik, Y.M., & Logunov, D.V. (2011). New faunistic records of spiders from east Kazakhstan (*Arachnida: Aranei*). *Arthropoda Selecta*, 20 (1); 57–63.
- 17 Fomichev, A.A., & Marusik, Y.M. (2013). New data on spiders (*Arachnida: Aranei*) of east Kazakhstan. *Arthropoda Selecta*, 22 (1); 83–92.
- 18 Tchemeris, A.N. (2015). Taxonomic notes on *Acanthomegabunus* Tsurusaki, Tchemeris & Logunov 2000 (*Arachnida: Opiliones: Phalangidae*), with a description of the new species *A. altaicus* sp. n. from the Altai Mountains of Russia and NE Kazakhstan. *Zootaxa*, 3990 (4); 567–574.
- 19 Gromov, A.V. (2000). Solpugids of the genus *Eusimonia* Kraepelin, 1899 (*Arachnida: Solifugae, Karschiidae*) of Central Asia. *Ekologia*, 19; 79–86.
- 20 Hruskova-Martisova, M., Pekar, S., & Gromov, A. (2007). Biology of *Galeodescapius subfuscus* (Solifugae, Galeodidae). *The Journal of Arachnology*, 35 (3); 546–551.
- 21 Gantenbein, B., Fet, V., & Gromov, A.V. (2003). The first DNA phylogeny of four species of *Mesobuthus* (*Scorpiones, Buthidae*) from Eurasia. *The Journal of Arachnology*, 31 (3); 412–420;
- 22 Fet, V., Kovarik, F., Gantenbein, B., & Graham, M.R. (2018). Revision of the *Mesobuthus caucasicus* complex from Central Asia, with descriptions of six new species (*Scorpiones: Buthidae*). *Euscorpius*, 255; 1–77. <https://doi.org/10.18590/euscorpius.2018.vol2018.iss255.1>

- 23 Teruel, R., Kovarik, F., Navidpour, S., & Fet, V. The first record of the genus *Anomalobuthus* Kraepelin, 1900 from Iran, with description of a new species (*Scorpiones: Buthidae*). *Euscorpius*, 192; 1–10. <https://doi.org/10.18590/euscorpius.2014.vol2014.iss192.1>
- 24 Fet, V., Capes, E.M., & Sissom, W.D. (2001). A new genus and species of psammophilic scorpion from eastern Iran (*Scorpiones: Buthidae*). *Scorpions*, 183–189.
- 25 Teruel, R., Kovařík, F., & Fet, V. (2018). Revision of the Central Asian scorpion genus *Anomalobuthus* Kraepelin, 1900, with descriptions of three new species and a generic synonymy (*Scorpiones: Buthidae*). *Euscorpius*, 270; 1–45. <https://doi.org/10.18590/euscorpius.2018.vol2018.iss270.1>
- 26 Mitiaev, I.D., Yashchenko, R.V., & Kazenas, V.L. (2005). *Udivitelnyi mir bespozvonochnykh. Po stranitsam Krasnoi knigi Kazakhstana [The amazing world of invertebrates. On the pages of the Red Book of Kazakhstan]*. Almaty: Almatykitap [in Russian].
- 27 Waage, B.E. (1985). Trapping efficiency of carabid beetles in glass and plastic pitfall traps containing different solutions. *Fauna Nor.(B)*, 32; 33–36.
- 28 Artokhin, K.S. (2010). Metod kosheniia entomologicheskim sachkom [Method of mowing with entomological net]. *Zashchita i karantin rastenii — Plant protection and quarantine*, 11; 45–48 [in Russian].

V. Parakhina*, Ye.M. Laryushina, O. Ponamareva

*Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan***Corresponding author: vfparakhina@gmail.com***Association between Endocan, PAI-1 and intima media thickness
in patients with high diabetes risk**

There is no information in the literature on the ratio of the concentrations of Endocan, PAI-1, and intima media thickness (IMT) in patients with high diabetes risk. This study aims to investigate the relationships between endothelial dysfunction biomarkers: Endocan, Plasminogen Activator Inhibitor-1 (PAI-1), insulin resistance (IR) indicators, and IMT of the common carotid artery (CCA) in patients with risk of type 2 diabetes mellitus (T2DM). A case-control study was held, including 184 individuals, aged from 18 to 65 years. According to FINDRISC scale, patients were divided into 2 groups: Group 1 ($n = 138$) — low risk of T2DM (<12 points) and Group 2 ($n = 46$) high risk of T2DM (>12 points). IMT more than 0.9 mm on ultrasound considered as an atherosclerosis. Significant differences were found when studying the level of Endocan, PAI-1 biomarkers with their predominance in the group of patients with a high risk of T2DM; concentrations of Endocan comprised (mean \pm SD) 1698.2 \pm 576.2 pg/ml; $p=0.01$; PAI-1—32307.15 \pm 19947.12 pg/ml; $p=0.05$ to compare with low risk of T2DM. In addition to, mean values of IMT prevailed in patients in the group with a high diabetes risk and comprised right IMT CCA-0.90 \pm 0.15 mm; $p = 0.05$, left IMT CCA-0.91 \pm 0.14 mm; $p=0.02$. Interrelations between Endocan, PAI-1, and IMT CCA have been determined by correlation analysis. These findings indicate that in patients with high diabetes risk the elevations of the Endocan, PAI-1 is associated with a subclinical atherosclerosis. Furthermore, both biomarkers Endocan and PAI-1 has been demonstrating significant correlation with insulin, IR-HOMA index, C-peptide, HbA1c, and fasting glucose in patients with high risk of T2DM. We found significant relationships between the ED biomarkers with IMT and IR in patients with high risk of T2DM. We suggest that rising of IR leads to Endocan and PAI-1 elevation, subclinical atherosclerosis and thereby increase ED and cardiovascular risk in these patients.

Keywords: Endocan, PAI-1, endothelial dysfunction, intima media thickness, high diabetes risk.

Introduction

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is one of numerous risk factors for the development of cardiovascular events (CVE), leading to the progress of endothelial dysfunction (ED), and subsequently to mortality from macrovascular complications [1]. CVE assassinates millions of people every year, and cardiovascular diseases (CVD) still occupy a leading position worldwide in terms of morbidity and mortality from non-communicable diseases. According to the WHO, in 2016, 17.9 million people died from cardiovascular diseases, 31 % of all deaths in the world [2]. In Kazakhstan, this indicator was also at a high level and amounted to 25.9 % [3].

Insulin resistance (IR) is the main pathogenetic link of prediabetes and T2DM, contributes to the development of hyperinsulinemia, leading to endothelial dysfunction (ED) followed by an increase in blood pressure (BP), progression of atherosclerotic vascular changes, impaired hemostasis. The issue of in T2DM has been studied in numerous studies. Complex intersections of the metabolic pathways of insulin resistance (IR) and ED simultaneously affect the atherosclerosis, with no possibility to say exactly which of these

processes increasingly damages a vessel wall. At the same time, hyperglycemia in DM induces the endothelial dysfunction through oxidative stress, and also contributes to the accelerated atherosclerosis [4, 5]. Thus, the ED and vascular disorders result in macroangiopathy and CVE in T2DM patients.

CVE in patients with prediabetes are not well understood since prediabetes itself is a poorly diagnosed condition, and, accordingly, CVE due to the presence of prediabetes are also little understood. It was found that an increase in the level of glycosylated hemoglobin of more than 6 % is associated with development not only of diabetes, but also of CVE [6].

To assess the risk of T2DM, FINDRISC scale was chosen [5]. This scale estimates the 10-year risk of T2DM, including asymptomatic diabetes and impaired glucose tolerance (IGT), with 85 % accuracy. This scale is validated, adapted to our population (considering the nature of diet, physical activity), low-cost and easy to use.

There are several studies on cardiovascular risk (CVR) in patients with a high risk of diabetes on the FINDRISC scale [6–8], it was established high diabetes risk was associated with not only impaired insulin secretion and insulin sensitivity, but also with high cardiovascular risk. This is also consistent with the results of our previous study on CVR in patients at high risk of T2DM [9]. Results have demonstrated that patients with the high diabetes risk contemporaneously have the high cardiovascular risk on the SCORE scale.

There is only one study examining IMT in patients with T2DM risk. The results of study [10] show that patients with a high risk of T2DM and prediabetes have all ultrasound signs of subclinical atherosclerosis. However, no studies have been conducted to assess the ratio of the levels of the Endocan, PAI-1 (plasminogen activator inhibitor), and IMT, and effect of biomarkers on the IMT in patients with T2DM risk.

In our present study, we pursued the goal of assessing subclinical atherosclerosis by studying the intima media thickness (IMT), which is a sensitive indicator of the risk of CVE.

Thus, the scientific novelty and research issue of our study is the assessment of endothelial function by measuring the IMT in conjunction with the measurement of the Endocan, PAI-1 biomarkers concentrations in patients with T2DM risk, as well as the effect of IR on ED, as a result the development of subclinical atherosclerosis in these patients.

The paper aims to study the association of IR, Endocan and PAI-1 biomarkers and the IMT in patients with risk of T2DM.

Experimental

The unmatched case-control study was carried out among the population of Karaganda city, Kazakhstan, from January 2019 to December 2019, in polyclinic of the city. The study involved 184 respondents. There were 73 (39.6 %) males and 111 (60.4 %) females.

The respondents were divided into 2 groups:

Group 1 “case” — respondents with a high risk of T2DM on the FINDRISC scale $n = 46$ (25.0 %);

Group 2 — “control” respondents with a low risk of T2DM was, $n = 138$ (75.0 %) [5].

Sample size.

Sample size was calculated using the Kelsey method, EPI info software for case-control studies without matching. The two-sided confidence level was 95 %, the statistical power was 80 %; the ratio of unexposed cases to exposed cases was two. According to literature review, we took data about prevalence patients with T2DM from previous studies. Thus, after calculation the minimum number of respondents with a high diabetes risk was 46 people (case), patients without or low diabetes risk (control) — 92 people.

Assessment risk of T2DM on the FINDRISC scale.

The risk of T2DM was assessed using the FINDRISC scale, the questions of which included information on age, BMI, WC, having at least 30 minutes of physical activity daily, taking antihypertensive drugs, data on the presence of diabetes in relatives, data about previously increased blood glucose levels, daily consumption of fresh vegetables [5]. This scale allows determining the ten-year risk of developing T2DM with 85 % accuracy. All respondents were divided into 2 groups: low and high risk of T2DM. The group of low risk T2DM included respondents with number of points less than 12, and the group of high risk T2DM — included respondents with number of points more than 12 on the FINDRISC scale.

Respondents:

Inclusion criteria:

Males and females aged from 18 to 65 years, without a previously diagnosis of T2DM, after filling out their informed consent.

Exclusion criteria:

- Patients with a previously diagnosed T2DM or newly diagnosed diabetes by an oral glucose tolerance test, or patients with random plasma glucose level of 11.1 mmol / L (200 mg / dL) or higher were excluded from the study.
- Patients with a previous history of acute and decompensated heart disease, including myocardial infarction, cerebral stroke, confirmed by coronary angiography and CT were excluded from the study.
- Patients with chronic kidney disease and renal dysfunction based on a glomerular filtration rate (GFR / CKD-EPI) less than or equal to 90 ml / min / 1.73 m² were excluded from the study.

Pregnant women, people with severe mental and oncological diseases also were excluded from the study.

Before starting the study, all respondents completed their informed consent.

Ethical approval.

Research Protocol No. 309 has been approved on September 19th, 2017 by the Local Ethical Committee in accordance with the ethical principles of scientific research provided by the World Medical Association in the Declaration of Helsinki.

The study included questionnaires, anthropometry (measurement of height, weight, waist circumference (WC), calculation of body mass index (BMI), measurement of blood pressure (BP), determination of biochemical parameters: glycated hemoglobin (HbA1c,%), C-peptide, Insulin, fasting capillary blood glucose, lipid profile: low density lipoprotein (LDL), high density lipoprotein (HDL), triglycerides, total cholesterol, Endocan and PAI-1 biomarkers, IR-HOMA index was calculated.

The survey included questions of socio-demographic characteristics, heredity, history of chronic non-infectious diseases, and drug intake.

Blood pressure (BP) was measured in accordance with the WHO guidelines using a mechanical tonometer (Microlife BP AG1–10) on both arms with a preliminary rest period of at least 10 minutes. The smallest of three consecutive measurements was taken for calculations.

Height and weight were measured using a digital weighted stadiometer (TBEC RS-232). Body mass index (BMI) was calculated using the formula: body weight divided by the square of height in meters (kg/m²). Waist circumference (WC, cm) was measured using an inelastic measuring tape at the midpoint between the lower edge of the last palpable rib and the top of the iliac crest. BMI was graded according to “Centers for Disease Control and Prevention”: from 25.0 to 30.0 kg/m² as overweight, more than 30.0 kg/m² as various degrees of obesity. Abdominal obesity was considered if WC was over 94 cm in males, and over 88 cm in females.

Measurement of biochemical parameters.

The plasma with Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) was conserved in vials by aliquots and quickly frozen. The samples were stored at -70 degrees Celsius for no more than 3 months. Determination of fasting lipid profile blood test (Total cholesterol LDL, HDL, triglycerides) was done from blood plasma by the method of selective precipitation with phosphotungstate and magnesium. HbA1c was determined from capillary whole blood by reflectometry using the Nyco-Card test system. Determination of insulin, glucagon, C-peptide was carried out by multiplex immunological analysis using xMap technology on Bioplex 3D.

Measurement of endothelial dysfunction biomarkers: Endocan, PAI-1.

The method of magnetic bead-based multiplex immunoassay using xMap technology was used for Endocan and PAI-1. The standard Milliplex map Human Cardiovascular Disease Magnetic Bead Panel 1 (Millipore) kit was used to determine concentration of listed metabolites in accordance with “Override protocol” instruction of manufacturer. The study protocol included incubation of unknown, standard, and control samples with magnetic beads loaded with primary antibodies, revelation using detecting antibodies and Streptavidin Phycoerythrin Conjugated. Final step of the protocol was fluorescence registration using Bioplex 3D equipment (Luminex software). The coefficient of variation was less than 20 % for all detected analytes with minimum detectable concentration of Endocan — 430.55 pg/ml, PAI-1 — 3489.3 pg/ml.

Measurement of Intima Media Thickness

Carotid artery IMT measurement was performed by one well-trained, certified specialist. IMT of the carotid artery was defined as the average result of measuring the thickness of tunica intima media of the right and left common carotid artery (CCA), which was visualized as a double-line sign longitudinally CCA.

Ultrasound studies were carried out, in B-mode, real-time ultrasonography using the Philips EPIQ 7 equipment.

According to the ESC / ESH guideline, the ultrasound value of carotid IMT is more than 0.9 mm, the maximum of the two values (right and left) was considered the presence of an atherosclerosis [11]. In addition, the visualization of the plaques themselves was considered also as an atherosclerosis. Carotid plaque was defined as focal extrusion into the lumen of the artery by at least 0.5 mm or 50 % of the surrounding IMT of the carotid artery, or > 1.5 mm thick.

Assessment of cardiovascular risk using the SCORE scale.

The SCORE scale allows assessing the ten-year risk of developing CVD and mortality from them. Risk calculation was carried out using an online calculator, as well as using risk scales that are freely available [12].

Calculation of IR-HOMA index.

The IR-HOMA index was calculated using the formula (fasting insulin ($\mu\text{U/l}$) \times fasting glucose (mmol/L) / 22.5), values greater than 2.7 were considered as IR.

Statistical analysis.

The data were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test. The distribution was abnormal. Variables with an abnormal distribution were transformed to normal distribution. The statistical significance of the differences between the groups (high / low diabetes risks) was assessed by the Student's *t*-test; the differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. Data were presented as Mean \pm SD.

Evaluation of the relationship between the parameters of IMT, Endocan, PAI-1, biochemical, anthropometric parameters, blood pressure with the risk of diabetes, atherosclerosis, was carried out using correlation analysis. The Pearson's correlation coefficient was used (IMT, PAI-1, LDL, HDL, fasting glycemia, Diastolic BP) for data with a normal distribution. As for abnormal distribution, the Spearman's correlation coefficient was used (BMI, WC, Systolic BP, IR-HOMA index, SCORE, C-peptide, Insulin, total cholesterol, triglycerides).

Binary logistic regression analysis was done to assess the factors affecting the IMT, dependent variable was the presence/absence of atherosclerosis, the adjustment was done by gender, age, and the presence of arterial hypertension. The results were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics, 22.0.

Results

Table 1 presents the characteristics of the respondents.

Table 1

Characteristics of respondents with various risks of type 2 diabetes

Variables	Low risk of T2DM, <i>n</i> = 138	High risk of T2DM, <i>n</i> = 46	p-level
Age, years	45.11 \pm 12.59*	54.62 \pm 9.97	0.07
BMI, kg/m ²	26.37 \pm 5.02	32.37 \pm 5.41	0.03
WC, cm	88.03 \pm 14.21	104.27 \pm 12.52	0.02
Systolic BP, mm of mercury	117.3 \pm 18.9	131.6 \pm 15.2	0.05
Diastolic BP, mm of mercury	76.8 \pm 11.6	83.32 \pm 10.4	0.06
Fasting glucose, mmol/l	5.59 \pm 0.7	5.86 \pm 0.9	0.05
HbA1c, %	5.59 \pm 0.74	5.76 \pm 0.32	0.05
Insulin, mU/l	8.95 \pm 10.7	13.97 \pm 15.02	0.05
IR-HOMA index	2.44 \pm 3.8	3.88 \pm 4.8	0.05
C-peptide, pg/ml	1334.07 \pm 2894.2	1506.9 \pm 899.7	0.05
Total cholesterol, mmol/l	5.85 \pm 1.98	5.92 \pm 1.65	0.07
LDL, mmol/l	3.72 \pm 1.07	4.0 \pm 1.04	0.08
HDL, mmol/l	1.20 \pm 0.40	1.13 \pm 0.5	0.06
Triglycerides, mmol/l	1.22 \pm 1.04	1.28 \pm 0.81	0.07
SCORE, %	2.5 \pm 2.84	3.35 \pm 0.99	0.01
PAI-1, pg/ml	29042.13 \pm 17490.91	32307.15 \pm 19947.12	0.05
Endocan, pg/ml	803.7 \pm 143.2	1698.2 \pm 576.2	0.01
Right CCA IMT, mm	0.74 \pm 0.22	0.90 \pm 0.15	0.05
Left CCA IMT, mm	0.75 \pm 0.16	0.91 \pm 0.14	0.02

*Data are presented as Mean \pm SD

Differences between the groups were found, so BMI and WC predictably prevailed in the group with a high risk of type 2 diabetes. It reflected the presence of obesity 1 degree; BMI-32.37±5.41 kg/m², p = 0.03, abdominal obesity; WC-104.27 ± 12.52 cm; p = 0.02 compared to group of low diabetes risk.

Systolic BP predominated in the group with a high risk of T2DM, and reflected in this group the presence of arterial hypertension of 1 degree, according to the American Heart Association guidelines.

The predominance insulin resistance indicators and carbohydrate metabolism, what included fasting glycemia, glycated hemoglobin, insulin, C-peptide, and the IR-HOMA index was also established in patients with a high risk of T2DM.

There no differences were found in the groups in the study of lipid metabolism (lipidogram). However, dyslipidemia occurred in both groups, more pronounced in the group of patients with high diabetes risk.

Cardiovascular risk (CVR) according to the SCORE scale was also higher in the group of patients with a high risk of T2DM 3.35 ± 0.99 %; (p = 0.01), and reflected a moderate CVR (23.24).

Concentrations of the biomarkers Endocan and PAI-1 prevailed in the group with a high risk T2DM and amounted to 1698.2±576.2; p = 0.01 and 32307.15±19947.12 pg/ml; p = 0.05 respectively.

Ultrasound examination of CCA IMT revealed the following differences. The prevalence of CCA IMT of the left was established in patients in the group of high diabetes risk, compared with group of low diabetes risk. Thus, CCA IMT of the right was 0.90±0.15; p = 0,05 mm; CCA IMT of the left was 0.91±0.14 mm; p = 0.02 and reflected the presence of subclinical atherosclerosis.

Correlation analysis of factors affecting intima media thickness (subclinical atherosclerosis), Endocan and PAI-1 levels in patients with a high risk of T2DM are presented in Table 2, Figures 1 and 2.

The increase of CCA IMT, in addition to well-known indicators such as (BMI, WC, Systolic BP, Diastolic BP, total cholesterol, HDL, triglycerides), was found to be influenced by an increase in FINDRISC scores (r = 0.41; p = 0.05), on the SCORE scale (r = 0.69; p = 0.001), fasting glycemia (r = 0.98; p = 0.001), increased glycated hemoglobin (r = 0.49; p = 0.02), insulin (r = 0.36; p = 0.03), IR-HOMA (r = 0.47; p = 0.05), Endocan (r = 0.86; p ≤ 0.001), and PAI-1 level (r = 0.39; p = 0.05), (Fig. 1 and 2).

Correlation analysis has established factors affecting the increase in the Endocan and PAI-1 level, (Table 2). To increase both biomarkers of endothelial dysfunction affect increasing scores on FINDRISC scale, an increase in BMI and WC, hyperglycemia, hyperinsulinemia, increasing IR-HOMA index, increasing concentrations of C-peptide and LDL. A subclinical atherosclerosis development is affected by an increase in the level of Endocan (r = 0.85; p = ≤0.001), (Fig. 1) and PAI-1 (r = 0.39; p = 0.01), (Fig. 2). Moreover, the correlations of IMT are stronger with the biomarker Endocan. Both biomarkers lead to increasing cardiovascular risk in the SCORE scale.

Table 2

Correlation analysis of factors affecting the intima media thickness (subclinical atherosclerosis), the level of Endocan and PAI-1 in patients with a high risk of T2DM, (r)

Variables	*IMT>0.9 mm (ath: yes/no)	p-level	Endocan	p-level	PAI-1	p-level
	r		r		r	
1	2	3	4	5	6	7
FINDRISC (high/low risk T2DM)	0.41	0.05	0.51	≤0.001	0.31	0.05
BMI, kg/m ²	0.21	0.05	0.27	0.04	0.22	0.02
WC, cm	0.27	0.02	0.32	0.03	0.33	0.03
Systolic BP, mm of mercury	0.88	0.004	0.36	0.03	0.09	0.1
Diastolic BP, mm of mercury	0.68	0.05	0.08	0.1	0.04	0.5
HbA1c, %	0.49	0.02	0.23	0.04	0.36	0.02
Fasting glucose, mmol/l	0.98	≤0.001	0.22	0.02	0.24	0.002
Insulin, μU/l	0.36	0.03	0.27	0.02	0.41	0.008
IR-HOMA index	0.47	0.05	0.37	0.01	0.47	0.003
C-peptide, pg/ml	0.17	0.04	0.23	0.02	0.39	0.01
Total cholesterol, mmol/l	0.36	0.05	0.07	0.5	0.05	0.9
LDL, mmol/l	0.54	0.04	0.37	0.03	0.27	0.01
HDL, mmol/l	-0.05	0.8	0.06	0.3	-0.03	0.7
Triglycerides, mmol/l	0.41	0.03	0.27	0.03	0.05	0.4
SCORE,%	0.69	0.001	0.57	≤0.001	0.45	0.05
Right CCAIMT, mm	-	-	0.62	≤0.001	0.23	0.05

Continuation of Table 2

1	2	3	4	5	6	7
Left CCA IMT, mm	-	-	0.85	≤0.001	0.39	0.05
Ath., (yes/no)	-	-	0.85	≤0.001	0.39	0.01
PAI-1, pg/ml	0.39	0.05	-	-	-	-
Endocan, pg/ml	0.85	≤0.001	-	-	-	-

*Ath. — atherosclerosis, BMI — body mass index; WC — waist circumference; BP — blood pressure; HOMA — IR: homeostasis model for insulin resistance; LDL — low density lipoproteins; HDL — high density lipoprotein; SCORE: cardiovascular risk; CCA IMT — common carotid artery intima media thickness

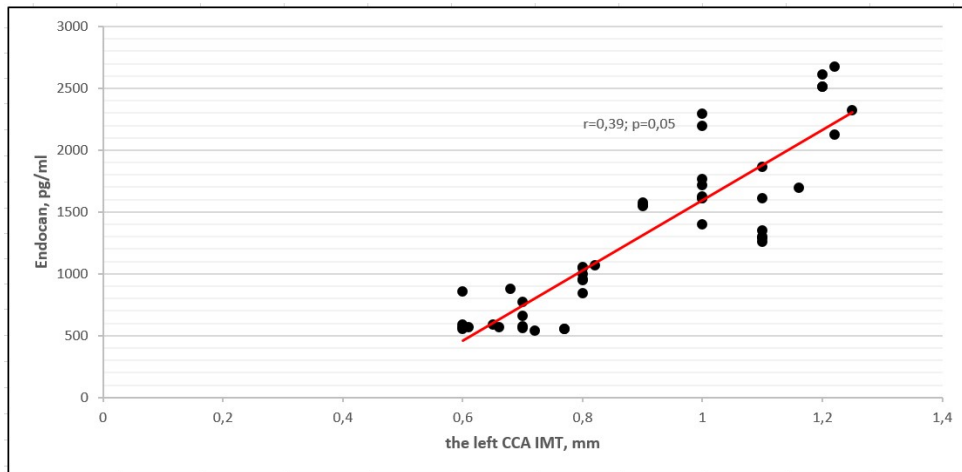
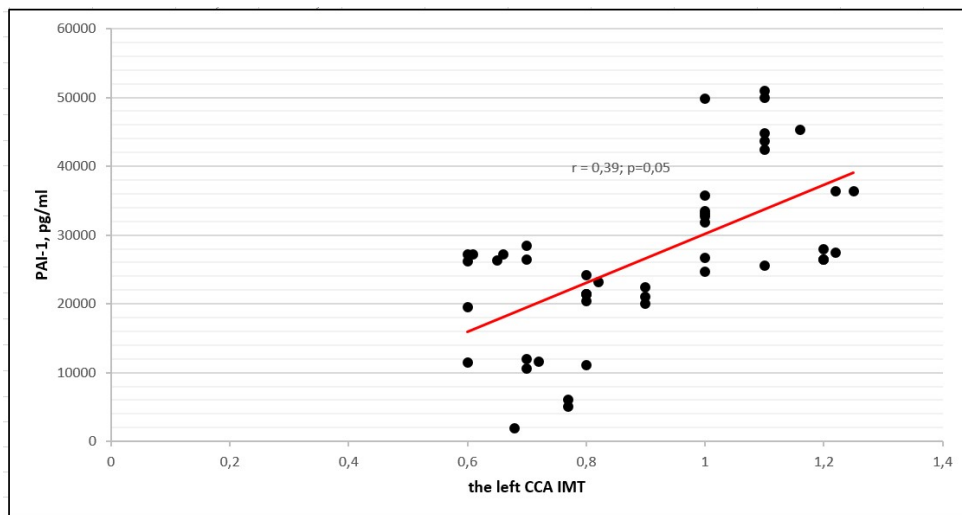


Figure 1. Relationships between intima media thickness and concentrations of Endocan in patients with high diabetes risk



*CCA IMT — intima media thickness common carotid artery

Figure 2. Relationships between intima media thickness and concentrations of PAI-1 in patients with high diabetes risk

Figure 3 illustrates the results of binary regression analysis.

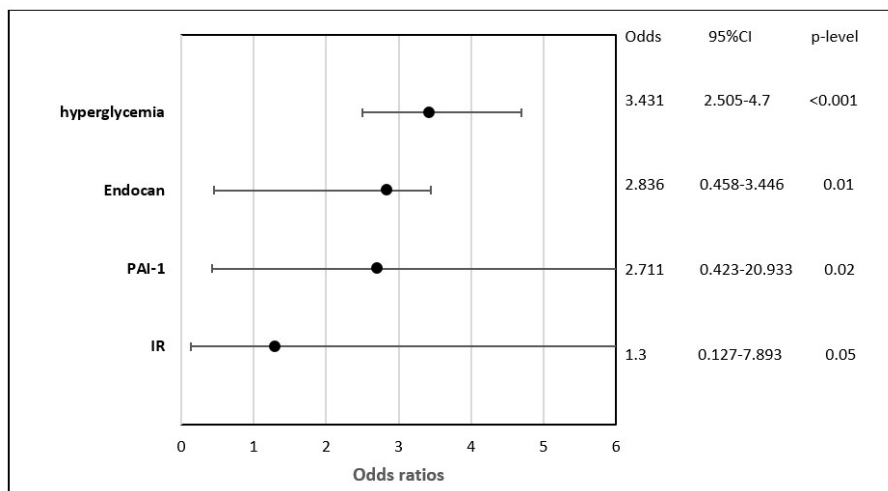


Figure 3. Binary regression analysis. Effect of hyperglycemia, IR, Endocan, PAI-1 concentrations on intima media thickness (development of a subclinical atherosclerosis) in patients at high diabetes risk. Dependent variable presence / absence of an atherosclerosis. The adjustment was done for gender, age, and the presence of hypertension

Binary regression analysis with correction for sex, age, and the presence of hypertension has revealed the following. Hyperglycemia by 3.4-fold ($p < 0.001$) elevation concentrations of Endocan by 2.8-fold ($p = 0.01$), and elevation of PAI-1 by 2.9-fold ($p = 0.02$), Insulin resistance by 1.3-fold ($p = 0.05$) affect the risk of development of a subclinical atherosclerosis. The results are presented as the Odd Ratio (OR). 95 % of confidence is interval for each OR.

Discussions

The results of our study showed that patients with high diabetes risk have a high CVR due to the presence of insulin resistance, subclinical atherosclerosis, as well as the presence of endothelial dysfunction, which is simultaneously confirmed by high levels of the Endocan and PAI-1 biomarkers and their effect on IMT in patients of the studied group.

Assessment of the endothelial dysfunction biomarkers such as Endocan and PAI-1 in patients at risk of T2DM using the FINDRISC scale has not been performed. Moreover, the simultaneous assessment of the Ratio of IMT and levels of Endocan, PAI-1 biomarkers in patients with diabetes risk has also not been studied previously.

Biomarker — Plasminogen activator inhibitor-1 (PAI-1) is a vascular factor [13], a fast-acting inhibitor of fibrinolysis, is considered as one of the risk factors triggering atherosclerosis [14] and, as a result, the risk of CHD. Endocan is an early biomarker of ED, which is influenced by insulin resistance, various disorders of carbohydrate metabolism, including hyperglycemia and impaired glucose tolerance [15].

PAI-1 biomarker is considered a predictor of T2DM. According to the study [16], the PAI-1 biomarker predicted the development of T2DM, regardless of IR and other known risk factors (body mass index, waist circumference, gender, age). Diabetes developed in 140 (16.6 %) of 843 people after a 5-year follow-up period [16]. The question whether the endothelial dysfunction affects the increase in diabetes is not fully clarified examined despite many scientists studied Endocan only in patients with the verified T2DM [17–19].

There is a single study examining IMT in patients at risk of T2DM [10]. In the study, Kiss et al. found an increased chance of developing subclinical atherosclerosis in patients at high risk T2DM. These findings are also consistent with the results of our study.

The effect of PAI-1 level on IMT was studied in separate studies in patients without carbohydrate metabolic disorders. Thus, a study by Marchesi et al. [20] established the effect of PAI-1 on IMT in patients with hypertension. Carratala et al. [21] established the effect of PAI-1 on IMT in patients with hyperlipidemia. Also, Endocan has been studied in patients without impaired carbohydrate metabolism; in CVD, such as ischemic heart disease, [22, 23] acute myocardial infarction [24–26], and arterial hypertension [27]. Our study revealed the relationship between the levels of PAI-1, Endocan, and IMT CCA, the impact of carbohydrate metabolism disorders, IR on the development of ED, and as a result, the development of subclinical atherosclerosis.

Furthermore, as the PAI-1 biomarker is a vascular factor [28], one of the risk factors triggering atherosclerosis [14], PAI-1 is produced by various cells of adipose tissue, including preadipocyte, mature adipocytes, macrophages, endothelial, and smooth muscle cells [29].

Besides, hyperglycemia can affect the PAI-1 level. Maiello et al. [30] identified that high glucose level reduced the fibrinolytic capacity of endothelial cells. In an experimental study on rats, Chen et al. [31] demonstrated that hyperglycemia stimulated the activation of the PAI-1 gene promoter in vascular smooth muscle cells.

There is no study on the assessment of the relationships between the Endocan biomarker level and CCA IMT in patients with diabetes risk or prediabetes. However, there are similar studies on patients with T2DM, with varying degrees of compensation for hyperglycaemia [15, 18], where the level Endocan was increased. Thus, a positive association was determined between the level of Endocan and IMT, respectively, and subclinical atherosclerosis in patients with T2DM [19]. Probably, the high level of Endocan was a result of the accomplished endothelial dysfunction in this category of patients with T2DM. Pathogenetic mechanisms of the relationship between the Endocan biomarker and impaired carbohydrate metabolism in patients not only with prediabetes but also with T2DM are still not fully understood. Thus, the main question as follows: Is the elevation of Endocan in patients with T2DM evidence of angiopathy, or a manifestation of incipient endothelial dysfunction, aggravated by impaired carbohydrate metabolism (hyperglycemia)?

In our study, we obtained correlations between the Endocan, PAI-1 level, and blood glucose, IR indicators. This also highlights the contribution of impaired carbohydrate metabolism to the development of ED in patients with high diabetes risk.

The study [32] revealed the simultaneous presence of IR and worsening insulin sensitivity in patients with ED and without diabetes. PAI-1 levels were higher in patients with ED [33]. In our study, the PAI-1 level was higher in the group of patients with a high risk of T2DM and increased the likelihood of development subclinical atherosclerosis in this category of patients by 2.9-fold. This determines the importance of studying this marker at the stage of diabetes risk or earlier to prevent the development of both T2DM and cardiovascular events, and targeting the factors that affect the increase in this biomarker.

Further monitoring of the identified high-risk group of T2DM is necessary to track the development of both T2DM and vascular events, and future changes of concentrations Endocan and PAI-1. It is necessary to conduct further prospective observation of the study participants to assess the development of ED, T2DM, and cardiovascular events in the studied group.

Conclusions

The presence of IR and disorders of carbohydrate metabolism was found in patients with a high risk of T2DM. Endothelial dysfunction was established in the form of a subclinical atherosclerosis and an increase of Endocan, PAI-1 concentration, in this study group of high risk of T2DM.

An elevation of biomarkers endothelial dysfunction, Endocan and PAI-1 increases the likelihood of the development of a subclinical atherosclerosis in patients with a high diabetes risk.

The high levels of Endocan and PAI-1 biomarkers in those examined with a high diabetes risk determines the importance of planning a clinical strategy for the timely identification of this category of patients and conducting targeted therapeutic interventions, which will prevent both the development of T2DM and endothelial dysfunction, and reduce further cardiovascular risk.

Acknowledgements

This study was funded by the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan under the scientific and technical program O.0769 “Development of the scientific basis for the formation of a preventive environment in order to preserve public health”.

References

- 1 Kannel, W.B., & McGee, D.L. (1979). Diabetes and cardiovascular risk factors: the Framingham study. *Circulation*, 59; 8. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.59.1.8>
- 2 World Health Organization (2021). Cardiovascular diseases (CVDs). Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- 3 World Health Organization (2018). Health of the Population of the Republic of Kazakhstan and the Activities of Health Organizations in 2017. Astana, Kazakhstan.

- 4 Janus, A., Szahidewicz-Krupska, E, Mazur, G., & Doroszko, A. (2016). Insulin Resistance and Endothelial Dysfunction Constitute a Common Therapeutic Target in Cardiometabolic Disorders. *Mediators of Inflammation*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3634948>
- 5 Alsema, M., Feskens, E.J., Bakker, S.J., Gansevoort, R.T., Boer, J.M., Heine, R.J., Nijpels, G., Stehouwer, C.D., van der Kraan, M., & Dekker, J.M. (2008). Finnish questionnaire reasonably good predictor of the incidence of diabetes in The Netherlands. *Ned Tijdschr Geneesk.*, 1–152 (44); 2418–2424.
- 6 López-González, Á.A., García-Agudo, S., Tomás-Salvá, M., Vicente-Herrero, M.T., Queimadelos-Carmona, M., & Campos-González, I. (2017). FINDRISC Test: Relationship between cardiovascular risk parameters and scales in Spanish Mediterranean population. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.*, 55 (3); 309–316.
- 7 Mamedov, M.N., Korneeva, V.N., & Oynotkinova, O.S. (2017). Assessment of Relationship between Cardiovascular Risk and Risk of Development of Diabetes Mellitus. *Kardiologiya*, 57(2); 46–51.
- 8 Fizeleva, M., Jauhainen, R., Stančáková, A., Kuusisto, J., & Laakso, M. (2016). Finnish Diabetes Risk Score Is Associated with Impaired Insulin Secretion and Insulin Sensitivity, Drug-Treated Hypertension and Cardiovascular Disease: A Follow-Up Study of the METSIM Cohort. *PLoS ONE*, 16 (11); 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166584>
- 9 Laryushina, Y., Parakhina, V., Turmukhambetova, A., Turgunova, L., Ibraeva, L., Amirhanova, D., & Nildibayeva, F. (2020). The Relationship Between the Level Fabp4, Risks of Type 2 Diabetes Mellitus, and Cardiovascular Events. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10; 8(B); 762–768. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.4678>
- 10 Kiss, L.Z., Bagyura, Z., Vadas, R., Polgár, L., Lux, Á., & Édes, E. (2017). Signs of subclinical atherosclerosis in asymptomatic patients at increased risk of type 2 diabetes mellitus. *J Diabetes Complications*, 31 (8); 1293–1298. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.05.007>
- 11 Simova, I. (2015). Intima-media thickness: appropriate evaluation and proper measurement. *The e-Journal of Cardiology Practice*, 13; 21.
- 12 Piepoli, F.M., Hoes, W.A., Agewsl, S., Albus, C., Brotons, C., Catapano L.A., Cooney, M.-T., Corra, U., Cosyns, B., Deaton, C., Graham, I., Hall, M.S., et al. (2016). European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice, Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *European Heart Journal*, 37 (29); 2315–2381. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106>
- 13 Adly, A.A., Elbarbary, N.S., Ismail E.A., & Hassan, S.R. (2014). Plasminogen activator inhibitor-1 (PAI-1) in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: relation to diabetic micro-vascular complications and carotid intima media thickness. *J Diabetes Complications*, 28(3); 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2014.01.011>
- 14 Tretjakovs, P., Jurka, A., Bormane, I., Mikelsone, I., Elksne, K., & Krievina, G. (2012). Circulating adhesion molecules, matrix metalloproteinase-9, plasminogen activator inhibitor-1, and myeloperoxidase in coronary artery disease patients with stable and unstable angina. *Clinica Chimica Acta*, 413; 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2011.10.009>
- 15 Balamir, I., Ates, I., Topcuoglu, C., & Turhan, T. (2018). Association of Endocan, Ischemia-Modified Albumin, and hsCRP Levels With Endothelial Dysfunction in Type 2 Diabetes Mellitus. *Angiology*, 69 (7); 609–616. <https://doi.org/10.1177/0003319717740781>
- 16 Festa, A., D'Agostino, R. Jr., Tracy, R.P., & Haffner, S.M. (2002). Elevated levels of acute-phase proteins and plasminogen activator inhibitor-1 predict the development of type 2 diabetes: the insulin resistance atherosclerosis study. *Diabetes*, 51 (4); 1131–1137. <https://doi.org/10.2337/diabetes.51.4.1131>
- 17 Festa, A., Williams, K., Tracy, R.P., Wagenknecht, L.E., & Haffner, S.M. (2006). Progression of plasminogen activator inhibitor-1 and fibrinogen levels in relation to incident type 2 diabetes. *Circulation*, 113(14); 1753–1759. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.616177>
- 18 Dallio, M., Masarone, M., Caprio, G., Sarno, R., Tuccillo, C., & Sasso, F.C. (2017). Endocan Serum Levels in Patients with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease with or without Type 2 Diabetes Mellitus: A Pilot Study. *J Gastrointest Liver Dis.*, 26 (3); 261–268. <https://doi.org/10.15403/JGLD.2014.1121.263.DAL>
- 19 Lv, Y., Zhang, Y., & Shi, W. (2017). The Association Between Endocan Levels and Subclinical Atherosclerosis in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus. *Am J Med Sci.*, 353(5); 433–438. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2017.02.004>
- 20 Marchesi, E., Martignoni, A., Tinelli, C., Ravetta, V., Resasco, T., & Piredda, M. (1999). Plasminogen activator inhibitor-1 and carotid intima-media thickening in patients with newly detected primary hypertension. *J Cardiovasc Risk.*, 6(6); 363–369. <https://doi.org/10.1177/204748739900600602>
- 21 Carratala, A., Martinez-Hervas, S., Rodriguez-Borja, E., Benito, E., Real, J.T., & Saez, G.T. (2018). PAI-1 levels are related to insulin resistance and carotid atherosclerosis in subjects with familial combined hyperlipidemia. *J Investig Med.*, 66(1); 17–21. <http://dx.doi.org/10.1136/jim-2017-000468>
- 22 Kundi, H., Gok, M., Kiziltunc, E., Topcuoglu, C., Cetin, M., & Cicekcioglu, H. (2017). The Relationship Between Serum Endocan Levels With the Presence of Slow Coronary Flow: A Cross-Sectional Study. *Clin Appl Thromb Hemost.*, 23(5); 472–477. <https://doi.org/10.1177/1076029615618024>
- 23 Ye, M.F., Zhao, Z.W., Luo, Y.K., Dong, X.F., & Yan, Y.M. (2016). Elevated endocan concentration is associated with coronary slow flow. *Scand J Clin Lab Invest.*, 76(5); 345–348. <https://doi.org/10.1080/00365513.2016.1177853>
- 24 Kundi, H., Balun, A., Cicekcioglu, H., Karayigit, O., Topcuoglu, C., & Kilinckaya, M.F. (2017). Admission Endocan Level may be a Useful Predictor for In-Hospital Mortality and Coronary Severity Index in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *Angiology*, 68 (1); 46–51. <https://doi.org/10.1177/0003319716646932>

- 25 Qiu, C.R., Fu, Q., Sui, J., Zhang, Q., Wei, P., & Wu, Y. (2017). Serum Endothelial Cell-Specific Molecule 1 (Endocan) Levels in Patients With Acute Myocardial Infarction and Its Clinical Significance. *Angiology*, *68*(4); 354–359. <https://doi.org/10.1177/0003319716651349>
- 26 Qiu, C.R., Fum Q., Sui, J., Zhang, Q., Wei, P., & Wu, Y. (2017). Analysis of Serum Endothelial Cell-Specific Molecule 1 (Endocan) Level in Type 2 Diabetes Mellitus With Acute ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and its Correlation: A Pilot Study. *Angiology*, *68*(1); 74–78. <https://doi.org/10.1177/0003319716634581>
- 27 Balta, S., Mikhailidis, D.P., Demirkol, S., Ozturk, C., Kurtoglu, E., & Demir, M. (2014). Endocan—a novel inflammatory indicator in newly diagnosed patients with hypertension: a pilot study. *Angiology*, *65*(9); 773–777. <https://doi.org/10.1177/0003319713513492>
- 28 Adly, A.A., Elbarbary, N.S., Ismail, E.A., & Hassan, S.R. (2014). Plasminogen activator inhibitor-1 (PAI-1) in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: relation to diabetic micro-vascular complications and carotid intima media thickness. *J Diabetes Complications*, *28*(3); 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2014.01.011>
- 29 Bastelica, D., Morange, P., & Berthet, B. (2002). Stromal cells are the main plasminogen activator inhibitor-1-producing cells in human fat: evidence of differences between visceral and subcutaneous deposits. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, *22*; 173–178. <https://doi.org/10.1161/hq0102.101552>
- 30 Maiello, M., Boeri, D., Podesta, F., Cagliero, E., Vichi, M., & Odetti, P. (1992). Increased expression of tissue plasminogen activator and its inhibitor and reduced fibrinolytic potential of human endothelial cells cultured in elevated glucose. *Diabetes*, *41*; 1009–1015. <https://doi.org/10.2337/diab.41.8.1009>
- 31 Chen, Y.-Q., Sum M., Raja Walia, R., Hao, Q., Cowington, J.W., & Vaughan, D.E. (1998). Sp1 sites mediate activation of the plasminogen activator inhibitor-1 promoter by glucose in vascular smooth muscle cells. *J Biol Chem.*, *273*; 8225–8231. <https://doi.org/10.1074/jbc.273.14.8225>
- 32 Lalić, K., Nedeljković, M., Jotić, A., Babić, R., Rajković, N., & Popović, L. (2018). Endothelial dysfunction of coronary arteries in subjects without diabetes: an association with both insulin resistance and impaired insulin secretion response. *Diabetes Res Clin Pract.*, *139*; 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2018.03.005>
- 33 Erzen, B., & Sabovic, M. (2013). In young post-myocardial infarction male patients elevated plasminogen activator inhibitor-1 correlates with insulin resistance and endothelial dysfunction. *Heart Vessels*, *28*; 570–577. <https://doi.org/10.1007/s00380-012-0287-9>

В. Парахина, Е. Ларушина, О. Понамарева

Қант диабеті қауіпін жоғары науқастарда Endocan, PAI-1 және интима–медиасының қалыңдығы арасындағы байланыс

Қант диабетінің даму қауіпін жоғары науқастарда Endocan, PAI-1 биомаркерлерінің концентрациялары мен интима–медиа қалыңдығы (ИМҚ) арасындағы байланыс туралы әдебиеттерде деректер жеткіліксіз. Мақсат: эндотелий дисфункциясының биомаркерлері: Endocan, PAI-1 және интима–медиа қалыңдығы, 2 типті қант диабетінің даму қауіпін жоғары науқастардағы жалпы ұйқы артериясының инсулинге төзімділігі (ИТ) индекстері арасындағы байланысты зерттеу. Бақылау-жағдайы әдісімен 18 бен 65 жас аралығындағы 184 адам зерттелді. FINDRISC шкаласы бойынша респонденттер 2 топқа бөлінді: 1-топ ($n = 138$) — ҚД2 қауіпін төмен (<12 балл) және 2-топ ($n = 46$) — ҚД2 қауіпін жоғары (>12 балл). ИМҚ бойынша 0,9 мм-ден жоғары ИМҚ атеросклероздың болуы ретінде қарастырылды. Endocan, PAI-1 биомаркерлерінің деңгейін зерттеу кезінде олардың ҚД2 қауіпін жоғары респонденттердің тобында басым болуымен айтарлықтай айырмашылықтар анықталды; Endocan концентрациясы (Mean \pm SD) $1698,2 \pm 576,2$ пг/мл; $p = 0,01$; PAI-1 $-32307,15 \pm 19947,12$ пг/мл; ҚД2 төмен қауіпін тобымен салыстыру үшін $p = 0,05$. Сонымен қатар, ҚД2 жоғары қауіпін тобына жататын респонденттерде ИМҚ орташа мәндері басым болды және мынаны құрады: он жақ ИМҚ ССА — $0,90 \pm 0,15$ мм; $p = 0,05$, сол жақ ИМҚ ОСА- $0,91 \pm 0,14$ мм; $p = 0,02$. Endocan, PAI-1 және ССА ИМҚ деңгейі арасындағы байланыс корреляциялық талдауды қолдану арқылы орнатылды. Алынған нәтижелер 2 типті қант диабетінің жоғары қауіпін бар науқастарда Endocan, PAI-1 биомаркерлерінің деңгейінің жоғарылауы субклиникалық атеросклерозбен байланысты екенін көрсетті. Сонымен қатар, екі Endocan биомаркерлері, PAI-1 инсулинмен, IR-НОМА индексімен, С-пептидімен, HbA1c және 2 типті қант диабеті қауіпін жоғары науқастарда аш қарынға глюкоза деңгейі маңызды корреляцияны көрсеткен. 2 типті қант диабеті қауіпін жоғары науқастарда ЭД биомаркерлері мен ИМҚ және ИР арасында маңызды байланыс анықталды. Біз ИР Endocan және PAI-1 деңгейлерінің жоғарылауына, субклиникалық атеросклерозға әкеледі деп болжаймыз, осылайша бұл науқастарда ЭД және жүрек-қан тамырлары қауіпін арттырады.

Кілт сөздер: Endocan, PAI-1, эндотелиалды дисфункция, интима–медиа қалыңдығы, қант диабетінің жоғары қауіпін.

В. Парахина, Е. Ларушина, О. Понамарева

Ассоциация между Endocan, PAI-1 и толщиной интимы медиа у пациентов с высоким риском диабета

В литературе недостаточно данных о соотношении концентраций биомаркеров Endocan, PAI-1 и толщины интимы-медиа (ТИМ) у пациентов с высоким риском развития сахарного диабета. Цель — изучить взаимосвязь между биомаркерами эндотелиальной дисфункции: Endocan, PAI-1 и толщины интимы-медиа, показателями инсулинорезистентности (ИР) и ТИМ общей сонной артерии (ОСА) у пациентов с высоким риском развития сахарного диабета 2 типа (СД2). Проведено исследование типа «случай–контроль», включающее 184 человека в возрасте от 18 до 65 лет. По шкале FINDRISC респонденты были разделены на 2-е группы: 1-я группа ($n = 138$) — низкий риск СД2 (<12 баллов) и 2-я — ($n = 46$) — высокий риск СД2 (>12 баллов). ТИМ более 0,9 мм, по данным УЗИ, расценивалось, как наличие атеросклероза. Достоверные различия выявлены при изучении уровня биомаркеров Endocan, PAI-1 с преобладанием их в группе респондентов с высоким риском СД2; концентрации Endocan составили (Mean \pm SD) $1698,2 \pm 576,2$ пг/мл; $p = 0,01$; PAI-1 $-32307,15 \pm 19947,12$ пг/мл; $p = 0,05$ для сравнения с группой низкого риска СД2. Кроме того, средние значения ТИМ преобладали у респондентов группы высокого риска СД2 и составляли: правая ТИМ ОСА — $0,90 \pm 0,15$ мм, $p = 0,05$; левая ТИМ ОСА — $0,91 \pm 0,14$ мм, $p = 0,02$. Взаимосвязь между уровнем Endocan, PAI-1 и ТИМ ОСА установлена с помощью корреляционного анализа. Полученные результаты продемонстрировали, что у пациентов с высоким риском СД 2 типа повышение уровня биомаркеров Endocan, PAI-1 ассоциировалось с субклиническим атеросклерозом. Кроме того, оба биомаркера Endocan, PAI-1 продемонстрировали достоверную корреляцию с инсулином, индексом IR-НОМА, С-пептидом, HbA1c и уровнем глюкозы натощак у пациентов с высоким риском СД 2 типа. Была найдена значимая взаимосвязь биомаркеров ЭД с ТИМ и ИР у пациентов с высоким риском СД 2 типа. Мы предполагаем, что ИР приводит к повышению уровня Endocan и PAI-1, субклиническому атеросклерозу, тем самым увеличивая ЭД и сердечно-сосудистый риск у данных пациентов.

Ключевые слова: Endocan, PAI-1, эндотелиальная дисфункция, толщина интимы-медиа, высокий риск сахарного диабета.

Н.К. Дюсембаева, Ш.С. Калиева, Е.А. Юхневич, Ж.В. Мясникова

Медицинский университет Караганды, Караганда, Казахстан

**Автор для корреспонденции: N.Dyusembaeva@qmu.kz*

Клинические испытания лекарственных средств у беременных Обзор

В статье представлен обзор по необходимости и этических вопросах, связанных с клиническими испытаниями лекарственных средств у беременных. Обращение к данному исследованию продиктовано тем, что, несмотря на постоянный рост доли женщин, употребляющих лекарства во время беременности, беременные по-прежнему исключены из испытаний лекарств, и существует большой научный пробел, требующий значительного увеличения исследований лекарств во время беременности. Тем не менее существуют серьезные проблемы в проведении этих испытаний лекарств при беременности.

Ключевые слова: беременные, лекарственные средства, клинические испытания.

Введение

С точки зрения фармакотерапии (следовательно, и в отношении клинических исследований лекарственных средств) беременность представляет собой специфическую фазу жизни, которая отличается от всех других фаз жизни по медицинским, этическим и правовым основам. На сегодняшний день широкое использование лекарственных средств (ЛС) при лечении беременных — объективная реальность, определяемая наблюдающимся снижением уровня здоровья женщин детородного возраста и увеличением среднего возраста первородящих [1].

Изучение терапевтических средств у беременных женщин на протяжении десятилетий практически не проводилось. Хотя половые различия в распределении лекарств были признаны в течение почти столетия, и известно, что беременность в значительной степени усугубляет эти различия, остается мало данных, которые могли бы помочь практикующим врачам определить правильную дозировку лекарств и консультировать пациентов относительно безопасности и эффективности лекарств во время беременности. Предыдущие случаи, такие как тяжелые пороки развития плода с использованием талидомида в 1950–1960-х гг. и индуцированная диэтилstilбестролом вагинальная аденокарцинома у женщины, подвергавшихся внутриутробному облучению в 1970-х гг., привели к тому, что в 1977 г. Управление по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA) исключило женщин детородного возраста из участия в первой и ранней второй фазах испытаний, когда оцениваются начальная фармакология, эффективность, и безопасность терапевтического агента. Фармацевтические компании и исследовательское сообщество распространили это исключение на этапы 3 и 4. Впоследствии, в середине 1990-х гг., мандатом Конгресса было учреждено Управление по санитарному надзору за положением женщин FDA для защиты участия женщин в клинических испытаниях. Впоследствии женщины с детородным потенциалом снова были включены в исследования лекарственных препаратов вместе с адекватными мерами предосторожности (например, тестирование на беременность и адекватная контрацепция) [2].

Любое вмешательство в сферу здоровья человека должно быть подкреплено правовой основой, которая в значительной степени обеспечивает защиту прав и свобод человека и гражданина, чем являются международные и общегосударственные документы. Так, согласно ст. 7 Международного пакта о гражданских и политических правах (1966) [3–6], нормы которой нашли свое отображение в Конституции России (1993), в ч. 2 ст. 21 указано: «Никто не может быть без добровольного согласия подвергнут медицинским, научным или иным опытам» [3].

Нюрнбергский кодекс стал первым международным документом, описывающим принципы проведения медицинских опытов на людях, вводящим этические нормы для ученых, занимающихся медицинскими экспериментами [4]. Принципы, сформулированные в Нюрнбергском кодексе, стали основой для многих международных и национальных законодательных актов в области проведения медицинских исследований на человеке.

Согласно Преамбуле Хельсинской Декларации Всемирной медицинской организации от 1964 г. [5], медицинские исследования основываются на этических стандартах, которыми провозглашаются уважение ко всем людям и защита их здоровья и прав. В последний раз Хельсинкская Декларация пересматривалась в 2013 г. Новая редакция существенно отличается от предыдущей: расширена сфера применения Декларации, которая теперь охватывает исследования на биоматериалах человеческого происхождения (ст. 1), усилена защита уязвимых категорий граждан (ст. 8), существенно расширен объем информации, которую исследователь должен предоставить в этический комитет (ст. 13) и пр.

Отсутствие данных о беременности при применении большинства терапевтических средств является результатом множества факторов. Традиционно беременным женщинам и женщинам детородного возраста запрещалось участвовать в испытаниях I-й фазы, и только в начале 1990-х гг. FDA начала запрашивать анализ данных по безопасности и эффективности для всех новых применений лекарств с учетом гендерных факторов, а также Национальный институт здравоохранения начал запрашивать включение женщин в исследования на людях [6]. Кроме того, фармацевтические компании не проявляют интереса к включению беременных женщин в свои исследования по разработке лекарственных препаратов из-за ряда медико-правовых рисков и этических соображений, а также из-за отсутствия энтузиазма, поскольку беременные женщины составляют небольшой процент пациентов населения, на которое ориентированы эти компании. Эти и другие факторы привели к тому, что беременные женщины были исключены из научных исследований, в целом, и фармакологических исследований, в частности.

Обзор

В обзоре всех протоколов, представленных в Единую институциональную комиссию по рассмотрению (IRB), Шонфельд и другие обнаружили, что беременные женщины были исключены из более чем 75 % всех протоколов исследования и из более чем 90 % всех протоколов, связанных с исследованиями наркотиков. Для большинства этих протоколов женщины должны были либо сдать отрицательный тест на беременность, либо использовать противозачаточные средства, прежде чем принимать участие в научных исследованиях [7]. Аналогичным образом, в обзоре всех интервенционных исследований IV-й фазы, включающих лекарственные средства, которые, как считалось, не являются тератогенными, охватывают женщин с детородным потенциалом в США, и опубликованные на сайте www.ClinicalTrials.gov в период с октября 2011 г. по январь 2012 г., Shields et al. обнаружили, что более 95 % этих исследований исключают беременных женщин [8].

Особенностью, затрудняющей оценку влияния ЛС на беременность и плод, является отсутствие достаточной доказательной базы по эффективности и безопасности фармакотерапии в различные периоды гестации, поскольку беременные вынуждены оставаться аутсайдерами крупных рандомизированных контролируемых клинических исследований (КИ), за исключением тех случаев, когда ЛС предназначено для их лечения.

Беременные женщины в настоящее время подвергаются воздействию в среднем 2,6 лекарств, отпускаемых по рецепту и без рецепта, во время беременности [9]. 90 % беременных женщин подвергаются воздействию как минимум 1 препарата, а 80 % сообщают о воздействии в течение первого триместра, периода органогенеза [10]. Многие из этих женщин нуждаются в лекарствах для лечения заболеваний, имеющих до беременности. Поскольку подавляющее большинство беременных женщин подвергаются воздействию лекарств, врачи должны получать информацию о дозировке лекарств, которая обеспечивает безопасное и эффективное использование этих лекарств для наших пациентов. К сожалению, в нескольких недавних исследованиях было обнаружено, что > 98 % лекарств не имеют или не имеют достаточных данных о безопасности и/или фармакокинетики для определения дозировки во время беременности и кормления грудью [11, 12].

У многих женщин во время беременности наступает обострение хронических заболеваний или появляются новые болезни. Существует значительное количество исследований, направленных на лечение возникающих во время беременности заболеваний (например, хроническая артериальная гипертензия, гестационный диабет). Иногда, несмотря на проведение стандартной терапии, ухудшение состояния здоровья матери делает необходимым проведение экспериментального лечения. В настоящее время должны быть прекращены все исследования, которые выявляют, что польза здоровью пациентки от проводимой терапии минимальна, а возможный риск для плода высок. Однако если исследуемый препарат жизненно необходим для улучшения состояния беременной женщины, ее согласия может быть достаточно для разрешения его применения — даже если риск для плода неизвестен

или превышает минимальный. Минимальный риск означает, что потенциальный риск для плода не больше, чем при выполнении стандартных процедур при нормальной или осложненной беременности, и сравним с таковым при обследовании. Для участия в КИ беременной женщины в ряде случаев необходимо информированное согласие отца.

Включение беременных в клинические исследования допустимо при соблюдении правовых и этических норм проведения исследования с участием человека (Good Clinical Practice (GCP) правила надлежащей клинической практики Евразийского экономического союза [13]). Клинические исследования с участием женщин, которые на момент проведения исследования являются беременными, должны находиться под особым контролем комитетов по этике. Участие беременных женщин в исследованиях должно определяться специальными регламентирующими положениями, которые в настоящее время только разрабатываются. Столь пристальное внимание к поставленной проблеме объясняется наличием третьей стороны (плода), который фактически принимает участие в исследовании, но не может дать на это согласие, и поэтому нуждается в максимальной защите от возможного нанесения вреда его здоровью. Эти исследования требуют обязательного получения информированного согласия, содержащего всю доступную информацию о возможных последствиях, возникающих вследствие проводимого лечения или медицинских процедур для здоровья женщин, а также для здоровья эмбриона, плода или будущего ребенка.

Цели исследования и условия его проведения иногда представляют большую сложность для проведения этической экспертизы ввиду наличия «конфликта интересов» между участниками исследования (беременная женщина и плод) и между участниками исследования и их ближайшими родственниками. В этом случае необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- направлено ли исследование непосредственно на улучшение здоровья женщины;
- определена ли степень риска для плода;
- требуется ли согласие отца на проведение исследования.

Важным условием принятия Этической комиссией (ЭК) решения о проведении исследования является оценка возможного риска для здоровья плода. Правильное определение минимального риска для здоровья плода накладывает большую ответственность на всех членов ЭК. Минимальный риск означает, что потенциальный риск для плода не больше, чем при выполнении обычных процедур при нормальной или осложненной беременности, и сравним с таковым при обследовании. Если ЭК не может точно установить, что риск для плода минимален, то при определенных условиях возможно принятие решения о проведении исследования.

Если исследование соответствует стандартам минимального риска, ЭК выносит решение относительно его одобрения. Требуется согласия матери и отца на проведение данного исследования, за исключением тех случаев, когда:

- цель исследования — это помощь здоровью матери;
- личность отца не установлена или не подтверждена;
- беременность является результатом изнасилования.

Несмотря на постоянный рост доли женщин, употребляющих лекарства во время беременности, беременные женщины по-прежнему исключены из испытаний лекарств, и существует большой научный пробел, требующий значительного увеличения исследований лекарств во время беременности. Тем не менее, существуют серьезные проблемы в проведении этих испытаний лекарств при беременности. К ним относятся низкий уровень зачисления пациентов и нежелание многих беременных женщин давать согласие в здоровом состоянии, физиологические адаптации беременности, предполагаемый риск приема лекарств для беременных женщин и их плодов/младенцев, отсутствие интереса со стороны фармацевтических компаний и отсутствие сильной законодательной служба поддержки. Чтобы обойти эти препятствия, потенциальные решения могут включать разработку более эффективных стратегий отбора проб и методов фармакокинетического / фармакодинамического моделирования, делающих проведение фармакокинетических испытаний более осуществимым. Кроме того, существует настоятельная необходимость в увеличении поддержки фармакокинетических исследований при беременности через частные/государственные финансирующие организации, а также для поддержки существующих (или будущих) сетей, которым поручено проведение акушерско-фетальных фармакологических исследований. Что еще более важно, существует неотложная потребность в законодательной реформе, чтобы побудить фармацевтические компании включать беремен-

ных женщин в свои исследования. Мы надеемся, что новое правило FDA, касающееся классификации лекарств, представляет собой огромный первый шаг в поощрении исследований в этой области.

Женщины и медицинские работники должны быть вооружены доступной информацией о воздействии лекарств при их применении во время беременности. Это вопрос общественного здравоохранения по нескольким причинам:

- 1) женщины принимают в среднем 2,6 препарата во время беременности;
- 2) многие беременные женщины страдают экстрагенитальной патологией, такими заболеваниями, как астма, артериальная гипертензия, депрессия или диабет, которые требуют от них продолжения приема лекарств, которые они принимали до беременности;
- 3) могут возникать новые проблемы со здоровьем или обостряться старые во время беременности, что требует начала медикаментозного лечения;
- 4) организм женщины изменяется в течение всего срока ее беременности, что может повлиять на дозу, в которой она нуждается, конкретного препарата.

В последнее десятилетие FDA продолжает подчеркивать необходимость включения женщин (беременных и небеременных) в программы развития, выпускает руководящие указания для промышленности по созданию реестров беременности и разрабатывает руководящие принципы для проведения фармакокинетических и фармакодинамических исследований в беременные женщины. Однако до сих пор нет действующего законодательства, которое стимулировало бы или обязывало проводить исследования лекарств у беременных и кормящих женщин [14].

Центры по контролю и профилактике заболеваний разработали инициативу «Лечение для двоих: более безопасное использование лекарств при беременности». Эта инициатива направлена на предотвращение врожденных дефектов и улучшение здоровья матерей путем определения наилучших терапевтических стратегий для лечения распространенных состояний во время беременности и в детородном возрасте [15]. Группа экспертов, созданная для разработки этой рукописи, решительно поддерживает разработку стратегий для получения более полных данных о препаратах, обычно используемых при беременности.

Как же решается вопрос о включении в клинические исследования беременных женщин в Международном научном сообществе? В октябре 2010 г. Национальный институт исследования женского здоровья (National Institute of Health Office of Research on Women's Health, США) представил отчет по этическим, регуляторным и научным вопросам включения беременных женщин в клинические исследования [16]. Этот отчет — «Движение в будущее с новыми измерениями и стратегиями: перспективы исследования женского здоровья до 2020 года» — явился результатом многолетней работы большого количества ученых, клиницистов, экспертов в области доклинических и клинических исследований, адвокатов [17]. Был сделан важный вывод о том, что исследования необходимы, преследуют терапевтические цели для беременных женщин и могут «пролить свет» на здоровье беременных женщин и их детей в будущем.

Принципы включения беременных в биомедицинские исследования сформулированы *Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS)* (Совет международных организаций медицинских наук) [18]. Беременные имеют право участвовать в биомедицинских исследованиях:

– исследования при беременности могут проводиться только если это необходимо для здоровья беременных женщин или ее плода, или это необходимо для здоровья популяции беременных женщин, и имеются завершённые экспериментальные исследования на животных, особенно в отношении рисков тератогенности и мутагенности;

– Протоколы этих исследований должны включать план мониторинга исходов беременности, включая здоровье матери, а также краткосрочную и долгосрочную оценку здоровья ребенка.

На сегодняшний день существует мнение экспертов [19–21] о том, что включение беременных в клинические исследования должно проводиться в следующих случаях:

- специфические ЛС предназначены для применения у беременных или кормящих матерей (например, различные токолитические ЛС при преждевременных родах);
- КИ ЛС, которые необходимы для здоровья беременных женщин и/или плода/новорожденного (например, беременные с ВИЧ инфекцией или другими угрожающими жизни состояниями);
- КИ ЛС, которые могут улучшить здоровье беременной и/или перинатальные исходы по сравнению с существующей терапией;
- ЛС, для которых установлен риск для женщины и/или плода на основании данных у небеременных и в экспериментальных исследованиях;

- новые ЛС или ЛС по новым показаниям, применение которых, как ожидается, должно быть эффективно у беременных;
- КИ при участии беременных должны быть исследованиями потенциальной пользы для здоровья женщины или плода. Любая польза для плода должна рассматриваться против возможных рисков для беременной женщины;
- ЛС, когда ожидаемый риск для плода не превышает риск стандартной терапии при неосложненной беременности, или если беременность протекает с осложнениями, целью этих исследований является развитие биомедицинских знаний, которые нельзя получить никаким другим путем.

Ввиду пробелов в научных знаниях, касающихся фармакокинетики лекарственных средств и краткосрочной и долгосрочной безопасности при беременности, лежит необходимость изучения фармакокинетических свойств многих лекарственных средств, используемых в настоящее время для различных акушерских показаний (например, сульфата магния), а также с потенциальным воздействием на целевые молекулярные пути, вовлеченные в патофизиологию различных акушерских осложнений (например, статинов) [22], или новые лекарственные средства для лечения распространенных заболеваний беременных женщин (например, новые лекарства против гепатита С, новые пероральные антикоагулянты, антиэпилептические лекарства и т.д.) [23]. Это приведет к более эффективному лечению беременных женщин при одновременном снижении риска нежелательных явлений [24].

В руководстве *European Medicines Agency* (EMA) констатируется, что контролируемые рандомизированные клинические исследования (РКИ) лекарственных средств необходимо проводить, когда ожидаемая польза от применения препаратов одинакова как для матери, так и для эмбриона/плода (например, бронхиальная астма, ВИЧ инфекция). Целью таких РКИ может быть также доказательство благоприятного воздействия ЛС на плод (например, применение фолиевой кислоты в преконцепционный период и в I-м триместре беременности для профилактики дефектов нервной трубки) [25].

В 2013 г. Центр по контролю и профилактике заболеваний (CDC, Center for Disease Control and Prevention) создал группу экспертов для разработки системного подхода к безопасному использованию лекарств во время беременности. Эта группа экспертов предложила блок-схему, чтобы поддерживать экспертизу имеющихся фактических данных по определенным лекарственным препаратам, чтобы предоставить потребителям и врачам проверенную информацию, чтобы решить, следует ли использовать тот или иной препарат во время беременности. Эта предложенная система еще не реализована, и на этом последнем семинаре дополнительно изложены некоторые критические потребности в областях принятия клинических решений, исследований и политики [26].

Зачастую беременность является противопоказанием для включения в клинические испытания новых лекарств. Тем не менее, многие члены комиссии отметили, что неэтично исключать беременных женщин из испытаний лекарств, так как отсутствие критических данных ограничивает возможности врачей принимать обоснованные решения. Кроме того, неадекватное или ненадлежащее использование лекарств может увеличить риск для матери и плода. Эти этические и политические проблемы кратко изложены в последних публикациях [27, 28].

В систематическом обзоре Rixile Hlongwane, Wendy Phoswa (2021), посвященном рандомизированным плацебо-контролируемым испытаниям антидепрессантов, назначенным беременным женщинам, был сделан вывод о том, что такие испытания были этически оправданы. Подход, основанный на аргументах, подчеркивает этическую основу, которой должны следовать научные исследования. В обзоре была подтверждена важность проведения таких испытаний, поскольку они будут способствовать надлежащему лечению, и укрепят уверенность в способности врача назначать антидепрессанты. Заполнение пробелов в знаниях с помощью хорошо спланированных исследований может привести к новым научным знаниям для удовлетворения насущных потребностей беременных женщин и сложностей, связанных с использованием лекарств [29].

Управление по контролю за пищевыми продуктами и лекарственными средствами США (Food and Drug Administration — FDA) и другие глобальные регуляторные органы сотрудничают для устранения недостатков в клинических исследованиях, из-за которых беременным и кормящим грудью не хватает данных, на основании которых можно было бы принимать медицинские решения. Глобальные регуляторные органы призывают к смене парадигмы в клинических исследованиях и убеждают фармацевтические компании включать беременных и кормящих грудью в свои исследования, чтобы «устранить недостатки в исследованиях».

В своем заявлении заинтересованные лица FDA утверждают, что слишком часто беременным и кормящим грудью, а также их поставщикам медицинских услуг приходится принимать важные клинические решения на основе практически нулевых данных о безопасности или эффективности лекарственных средств, используемых в период беременности и вскоре после родов. По их словам, это связано даже с лечением серьезных заболеваний, таких как бронхиальная астма, эпилепсия, депрессия и COVID-19.

Заинтересованные стороны FDA подчеркнули, что агентство и его глобальные регуляторные партнеры предпринимали шаги для поиска подходов к изучению медицинских продуктов в этих группах населения в течение последних лет. Однако текущая пандемия COVID-19 побуждает к дальнейшим действиям. По словам представителей FDA, беременные подвержены повышенному риску развития тяжелых заболеваний и серьезных неблагоприятных акушерских исходов из-за COVID-19. Тем не менее, несмотря на отсутствие конкретного исключения, беременные не участвовали в клинических исследованиях ремдесивира для лечения COVID-19. Кроме того, несмотря на поощрение регулирующих органов, разработчики вакцины против COVID-19 не включали беременных в предварительные исследования вакцины против COVID-19 (в том числе для вакцин Pfizer/BioNTech, Moderna или Janssen), заявили представители FDA.

Для борьбы с этим неравенством эксперты FDA, а также их международные коллеги из Европейского агентства по лекарственным средствам (European Medicines Agency — EMA) и Агентство по регулированию лекарственных средств и продуктов для здравоохранения Великобритании (UK Medicines and Health care products Regulatory Agency — MHRA) опубликовали статью, озаглавленную «Обеспечение доступа к безопасным лекарствам при беременности и кормлении грудью» в издании «Clinical Pharmacology & Therapeutics» в феврале 2021 г. Данная статья содержит единый призыв к действию в отношении того, как медицинские исследователи должны подходить к беременным и кормящим грудью при проведении клинических исследований [30].

Заключение

Таким образом, исследования на беременных женщинах должны проводиться только в тех случаях, когда необходимые данные не могут быть получены на других категориях пациентов и когда цель исследования отвечает потребностям здоровья матери и плода, а риск для их здоровья при этом минимален. Эти исследования требуют обязательного получения информированного согласия, содержащего всю доступную информацию о возможных последствиях, возникающих вследствие проводимого лечения или медицинских процедур для здоровья женщин, а также для здоровья эмбриона, плода или будущего ребенка. ЭК должен определить возможность участия матери в исследовании в связи с возможным риском для здоровья ее плода или ребенка. В некоторых других случаях ЭК должны быть уверены в том, что небеременные женщины будут предохраняться от беременности во время проведения исследования. Более того, соответствующие субъекты должны известить исследователя о планируемой беременности, так как это может привести к ненужному дополнительному риску. Иногда, несмотря на продление стандартной терапии, ухудшение состояния здоровья матери делает необходимым проведение экспериментального лечения. В настоящее время прекращены все исследования, которые выявляют, что польза здоровью пациентки от проводимой терапии минимальна, а возможный риск для плода высок. Однако если исследуемый препарат жизненно необходим для улучшения состояния беременной женщины, ее согласия может быть достаточно для разрешения его применения — даже если риск для плода неизвестен или превышает минимальный [31].

Список литературы

- 1 Сокова Е.А. Клинические исследования лекарственных средств у беременных: отношение ожидаемой пользы к возможному риску / Е.А. Сокова, Н.Д. Бунятян, И.А. Мазеркина, О.А. Демидова, Т.В. Александрова // Вестн. Науч. центра экспертизы средств медицинского применения. — 2015. — № 4. — С. 26–31.
- 2 Sheffield J.S. Designing Drug Trials: Considerations for Pregnant Women / J.S. Sheffield, D. Siegel, M. Mirochnik, R.P. Heime, C. Nguyen, K.L. Bergman, R.M. Savic, J. Long, K.E. Dooley, M. Nesin // Clin. Infect. Dis. — 2014. — Vol. 15 (59). — P. 437–444. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu709>
- 3 Ермолаев Д.О. Клинические исследования на человеке: вопросы защиты прав и свобод человека и гражданина / Д.О. Ермолаев, В.С. Красовский, Г.С. Хазова, О.И. Петрашова // Современные проблемы науки и образования. — 2016. — № 3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24728>

- 4 Медицинская этика после Второй мировой войны: Нюрнбергский кодекс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://n-europe.eu/tables/2017/07/31/meditsinskaya_etika_posle_vtoroi_mirovoi_voiny_nyurnbergskii_kodeks
- 5 Хельсинкская Декларация Всемирной медицинской ассоциации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rcrs.kz/docs//etic/16/doc>
- 6 Национальные институты здоровья. Закон о возрождении национальных институтов здравоохранения 1993 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://orwh.od.nih.gov/about/pdf/NIH-Revitalization-Act-1993.pdf>
- 7 Schonfeld T. The perils of protection vulnerability and women in clinical research / T. Schonfeld, K.K. Schmid, J.S. Brown, N.J. Amoura, B. Gordon // *Theoretical Medicine and Bioethics*. — 2013. — No. 35. — P. 9–15.
- 8 Шилдс К.Е. Исключение беременных из финансируемых отраслью клинических испытаний / К.Е. Шилдс, А.Д. Лерли // *Акушерство и гинекология*. — 2013. — No. 122. — С. 1077–1081.
- 9 Mitchell A.A. Medication use during pregnancy, with particular focus on prescription drugs: 1976–2008 / A.A. Mitchell, S.M. Gilboa, M.M. Werler, K.E. Kelley, C. Louil, S. Hernández-Díaz // *Am J Obstet Gynecol*. — 2011. — Vol. 205 (51). — с. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.02.029>
- 10 Broussard C.S. Developing a systematic approach to safer medication use during pregnancy: summary of a centers for disease control and prevention-convened meeting / C.S. Broussard, M.T. Frey, S. Hernandez-Diaz, M.F. Greene, C.D. Chambers, L. Sahin // *Am J Obstet Gynecol*. — 2014. — Vol. 211 (208). — P. 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2014.05.040>
- 11 Adam M.P. Evolving knowledge of the teratogenicity of medications in human pregnancy / M.P. Adam, J.E. Polifka, J.M. Friedman // *Am J Med Genet*. — 2011. — Vol. 157 (3). — P. 175–182.
- 12 McCormack S.A. Obstetric pharmacokinetic dosing studies are urgently needed / S.A. McCormack, M.B. Brookie // *Front. Pediatr*. — 2014. <https://doi.org/10.3389/fped.2014.00009>
- 13 Правила надлежащей клинической практики Евразийского экономического союза Good Clinical Practice (GCP). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gcp.nidatraining.org/>
- 14 U.S. Food & Drug Administration (FDA). Pregnancy. — 2022. Retrieved from <https://www.fda.gov/consumers/womens-health-topics/pregnancy>
- 15 Broussard C.S. Developing a systematic approach to safer medication use during pregnancy: summary of a Center for Disease Control and Prevention-convened meeting / C.S. Broussard, M.T. Frey, S. Hernandez-Diaz // *Am J Obstet Gynecol*. — 2014. — Vol. 211, No. 14. — P. 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2014.05.040>
- 16 Wood S.F. Implications of a New National Institutes of Health Agenda for Women's Health Research, 2010–2020 / S.F. Wood, M.C. Bleha, R. Mauery // *Women's Health Issues*. — 2011. — Vol. 21(2). — P. 99–103.
- 17 Blehar M.C. Enrolling pregnant women: issues in clinical research / M.C. Blehar, C. Spong, C. Grady, S.F. Goldkind, L. Sahin, J.A. Clayton // *Women's health issues: official publication of the Jacobs Institute of Women's Health*. — 2013. — Vol. 23 (1). — P. 39–45.
- 18 The Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) in collaboration with the World Health Organization (WHO), Guideline 17.
- 19 Lyerly A.D. The Second Wave: toward responsible inclusion of pregnant women in research / A.D. Lyerly, M.O. Little, R. Faden // *International Journal of Feminist Approaches to Bioethics*. — 2008. — Vol. 1 (2). — P. 6–22.
- 20 Goldkind S.F. Enrolling pregnant women in research-lessons from the H1N1 influenza pandemic / S.F. Goldkind, L. Sahin, B. Gallauresi // *New England Journal of Medicine*. — 2010. — Vol. 326 (24). — P. 2241.
- 21 Levine R.J. IRB perspective on inclusion of pregnant women in clinical research / R.J. Levine // *Issues in Clinical Research: Enrolling Pregnant. A workshop report*. — 2011.
- 22 Клири К.Л. Проблемы изучения лекарственных препаратов при беременности не по назначению показаниям: Простаглин для профилактики преэклампсии / К.Л. Клири, К. Рони, М. Костантин // *Семинары Перинатол*. — 2014. — № 38. — С. 523.
- 23 Chung R.T. Curing chronic hepatitis C — the arc of a medical triumph / R.T. Chung, T.F. Baumert // *N Engl J Med*. — 2014. — Vol. 370. — P. 1576–1578. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1400986>
- 24 Аяд М. Эпидемиология использования лекарственных средств при беременности / М. Аяд, М. Костантин // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628584>
- 25 Guideline on the exposure to medicinal products during pregnancy: need for post-authorisation. EMEA/CHMP/313666/2005, London, 2005. — 120 p.
- 26 Riley L.E. Improving Safe and Effective Use of Drugs in Pregnancy and Lactation: Workshop Summary / L.E. Riley, A.G. Cahill, R. Beigi, R. Savich, G. Saade // *Am. J Perinatol*. — 2017. — Vol. 34 (8). — P. 826–832. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1598070>
- 27 Zimmerman K. Using the pediatric experience / K. Zimmerman, D. Gonzalez, G.K. Swamy, M. Cohen-Wolkowicz // *Semin Perinatol*. — 2015. — Vol. 39 (7). — P. 532–536. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2015.08.007>
- 28 White A. Accelerating the paradigm shift toward inclusion of pregnant women in drug research: Ethical and regulatory considerations / A. White // *Semin Perinatol*. — 2015. — Vol. 39 (07). — P. 537–540. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2015.08.008>
- 29 Hlongwane R. Effect of Antidepressants in Pregnancy Outcomes: a Systematic Review and Meta-analysis Protocol / R. Hlongwane, W. Phoswa. — 2021. Retrieved from https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42021232111

30 Включение беременных и кормящих грудью в клинические исследования: регуляторные органы призывают к смене парадигмы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.clininvest.ru/jour/announcement/view/7744>

31 Ботина А.В. Этические аспекты проведения медицинских исследований на женщинах репродуктивного возраста / А.В. Ботина, Т.Г. Медведева, Н.Г. Незнанов // *Качественная клиническая практика*. — 2002. — № 3. — С. 6–13.

Н.К. Дюсембаева, Ш.С. Калиева, Е.А. Юхневич, Ж.В. Мясникова

Жүкті әйелдерде дәрілік заттарды клиникалық сынау Шолу

Мақалада жүкті әйелдерде дәрілік заттарды клиникалық сынауға байланысты қажеттілігіне және этикалық мәселелеріне шолу берілген. Шолуда жүктілік кезінде дәрі-дәрмек қолданатын әйелдер үлесінің тұрақты өсуіне қарамастан, жүкті әйелдер бұрынғысынша дәрі-дәрмектерді сынаудан шығарылғандықтан және жүктілік кезіндегі дәрі-дәрмектерді зерттеуді едәуір ұлғайтуды талап етуде үлкен ғылыми олқылықтың болғандығы туралы айтылған. Дегенмен, дәрі-дәрмектерді жүктілік кезінде сынауда өзекті мәселелер бар.

Кілт сөздер: жүкті әйелдер, дәрілік заттар, клиникалық сынақтар.

N.K. Diusembaeva, Sh.S. Kalieva, E.A. Yukhnevich, Zh.V. Miasnikova

Clinical trials of medicinal products in pregnant women (overview)

The article provides an overview of the necessity and ethical issues associated with clinical trials of medicines in pregnant women. Despite a constant increase in the proportion of women who use drugs during pregnancy, pregnant women are still excluded from drug trials, and there is a large scientific gap requiring a significant increase in drug research during pregnancy. However, there are serious challenges in conducting these drug trials in pregnancy.

Keywords: pregnant women, medicinal products, clinical trials.

References

- 1 Sokova, E.A., Buniatian, N.D., Mazerkina, I.A., Demidova, O.A., & Aleksandrova, T.V. (2015). Klinicheskie issledovaniia lekarstvennykh sredstv u beremennykh: otnoshenie ozhidaemoi polzy k vozmozhnomu risku [Clinical studies of medicinal products in pregnant women: ratio of expected benefit to possible risk]. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniia — Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medical Products*, 4; 26–31 [in Russian].
- 2 Sheffield, J.S., Siegel, D., Mirochnik, M., Heime, R.P., Nguyen, C., Bergman, K. L., Savic, R.M., Long, J., Dooley, K.E., & Nesin, M. (2014). Designing Drug Trials: Considerations for Pregnant Women. *Clin. Infect. Dis.*, 15 (59); 437–444. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu709>
- 3 Ermolaev, D.O., Krasovskii, V.S., Khazova, G.S., & Petrashova, O.I. (2016). Klinicheskie issledovaniia na cheloveke: voprosy zashchity prav i svobod cheloveka i grazhdanina [Clinical studies on man: issues of protection of human and civil rights and freedoms]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia — Modern problems of science and education*, 3. Retrieved from <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24728> [in Russian].
- 4 *Meditsinskaia etika posle Vtoroi mirovoi voyny: Niurnbergskii kodeks [Post-World War II medical ethics: Nuremberg Code]*. Retrieved from http://n-europe.eu/tables/2017/07/31/meditsinskaya_etika_posle_vtoroi_mirovoi_voiny_nyurnbergskii_kodeks [in Russian].
- 5 *Khelsinskaia deklaratsiia Vsemirnoi meditsinskoi assotsiatsii [Helsinki Declaration of the World Medical Association]*. Retrieved from <https://www.rcrs.kz/docs/etic/16/doc> [in Russian].
- 6 *Natsionalnye instituty zdorovia. Zakon o vozrozhdenii natsionalnykh institutov zdravookhraneniia 1993 goda [National Institutes of Health. National Institutes of Health Revival Act 1993]*. Retrieved from <http://orwh.od.nih.gov/about/pdf/NIH-Revitalization-Act-1993.pdf>. [in Russian].
- 7 Schonfeld, T., Schmid, K.K., Brown, J.S., Amoura, N.J., & Gordon, B. (2013). The perils of protection vulnerability and women in clinical research. *Theoretical Medicine and Bioethics*, 35; 9–15.
- 8 Shields, K.E., & Lerli, A.D. (2013). Iskluchenie beremennykh iz sponsiruemykh otrasliu klinicheskikh ispytaniia [Exclusion of pregnant women from industry-sponsored clinical trials]. *Akusherstvo i ginekologiya — Obstetrics and Gynecology*, 122; 1077–1081 [in Russian].

- 9 Mitchell, A.A., Gilboa, S.M., Werler, M.M., Kelley, K.E., Louil, C., & Hernández-Díaz, S. (2011). Medication use during pregnancy, with particular focus on prescription drugs: 1976–2008. *Am J Obstet Gynecol.*, 205 (51); e. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.02.029>
- 10 Broussard C.S., Frey, M.T., Hernandez-Diaz, S., Greene, M.F., Chambers, C.D., & Sahin, L. (2014). Developing a systematic approach to safer medication use during pregnancy: summary of a centers for disease control and prevention-convened meeting. *Am J Obstet Gynecol.*, 211 (208); 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2014.05.040>
- 11 Adam, M.P., Polifka, J.E., & Friedman, J.M. (2011). Evolving knowledge of the teratogenicity of medications in human pregnancy. *Am J Med Genet.*, 157 (3); P. 175–182.
- 12 McCormack, S.A., & Brookie, M.B. (2014). Obstetric pharmacokinetic dosing studies are urgently needed. *Front. Pediatr.*, 2014. <https://doi.org/10.3389/fped.2014.00009>
- 13 *Pravila nadležashchei klinicheskoj praktiki Evrazijskogo ekonomicheskogo soiuza «Good Clinical Practice (GCP)» [Good Clinical Practice (GCP) of the Eurasian Economic Union]*. Retrieved from <https://gcp.nidatraining.org/> [in Russian].
- 14 U.S. Food & Drug Administration (FDA) (2022). Pregnancy. <https://www.fda.gov/consumers/womens-health-topics/pregnancy>.
- 15 Broussard, C.S., Frey, M.T., & Hernandez-Diaz, S. (2014). Developing a systematic approach to safer medication use during pregnancy: summary of a Center for Disease Control and Prevention-convened meeting. *Am J ObstetGynecol.*, 211 (14); 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2014.05.040>
- 16 Wood, S.F., Blehar, M.C., & Mauery, R. (2011). Policy Implications of a New National Institutes of Health Agenda for Women's Health Research, 2010–2020. *Women's Health Issues*, Vol. 21(2); 99–103.
- 17 Blehar, M.C., Spong, C., Grady, C., Goldkind, S.F., Sahin, L., & Clayton, J.A. (2013). Enrolling pregnant women: issues in clinical research. *Women's health issues: official publication of the Jacobs Institute of Women's Health*, 23 (1); 39–45.
- 18 *The Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) in collaboration with the World Health Organization (WHO)*, Guideline 17.
- 19 Lyerly, A.D., Little, M.O., & Faden, R. (2008). The Second Wave: toward responsible inclusion of pregnant women in research. *International Journal of Feminist Approaches to Bioethics*, 1 (2); 6–22.
- 20 Goldkind, S.F., Sahin, L., & Gallaresi, B. (2010). Enrolling pregnant women in research -lessons from the H1N1 influenza pandemic. *New England Journal of Medicine*, 326 (24); 2241.
- 21 Levine, R.J. (2011). *IRB perspective on inclusion of pregnant women in clinical research. Issues in Clinical Research: Enrolling Pregnant. A workshop report.*
- 22 Kliri, K.L., Roni, K., & Kostantin, M. (2014). Problemy izucheniia lekarstvennykh preparatov pri beremennosti ne po naznacheniiu pokazaniim: Pravastatin dlia profilaktiki preeklampsii [Problems of studying medicinal products in pregnancy for off-label indications: Pravastatin for the prevention of preeclampsia]. *Seminary Perinatol — Perinatol Seminars*, 38; 523 [in Russian].
- 23 Chung, R.T., & Baumert, T.F. (2014). Curing chronic hepatitis C — the arc of a medical triumph. *N Engl J Med.*, 370; 1576–1578. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1400986>
- 24 Aiad, M., & Kostantin, M. *Epidemiologiia ispolzovaniia lekarstvennykh sredstv pri beremennosti [Epidemiology of drug use in pregnancy]*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628584> [in Russian].
- 25 (2005). *Guideline on the exposure to medicinal products during pregnancy: need for post-authorisation. EMEA/CHMP/313666/2005*, London.
- 26 Riley, L.E., Cahill, A.G., Beigi, R., Savich, R., & Saade, G. (2017). Improving Safe and Effective Use of Drugs in Pregnancy and Lactation: Workshop Summary. *Am. J Perinatol.*, 34 (8); P. 826–832. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1598070>
- 27 Zimmerman, K., Gonzalez, D., Swamy, G.K., & Cohen-Wolkowicz, M. (2015). Using the pediatric experience. *Semin Perinatol.*, 39 (7); 532–536. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2015.08.007>
- 28 White, A. (2015). Accelerating the paradigm shift toward inclusion of pregnant women in drug research: Ethical and regulatory considerations. *Semin Perinatol.*, Vol. 39 (07); 537–540. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2015.08.008>
- 29 Hlongwane, R., & Phoswa, W. (2021). *Effect of Antidepressants in Pregnancy Outcomes: a Systematic Review and Meta-analysis Protocol*. https://www.crd.york.ac.uk/prospetro/display_record.php?ID=CRD42021232111.
- 30 *Vkliuchenie beremennykh i kormiashchikh grudi v klinicheskie issledovaniia: reguliatorynye organy prizyvaiut k smene paradigmy [Inclusion of pregnant and breastfeeding women in clinical studies: Regulators call for paradigm shift]*. Retrieved from <https://www.clinvest.ru/jour/announcement/view/7744> [in Russian].
- 31 Botina, A.V., Medvedeva, T.G., & Neznanov, N.G. (2002). Eticheskie aspekty provedeniia meditsinskikh issledovaniia na zhenshchinakh reproduktivnogo vozrasta [Ethical aspects of conducting medical research on women of reproductive age]. *Kachestvennaia klinicheskaia praktika — Good Clinical Practice*, 3; 6–13 [in Russian].

V.R. Bituykova*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Corresponding author: bituykova@yandex.ru*

Ecological and economic assessment of the ecological situation transformation in the Republic of Kazakhstan regions in 1990–2020

The article is devoted to problems of stating the complex index of anthropogenic impact (IAI) formation estimating the ecological stress level in regions of Kazakhstan. A system of indicators of anthropogenic stress for ecological monitoring is justified as different methods of normalization and aggregation of indices. Results of various estimations are provided. Factors of transformation of territorial structure of pollution are revealed. IAI shows that in the post-Soviet period, inherited ecological problems and new sources of impact determined the anthropogenic impact spatial shift at the regional level from the North and East to the South and West. Industry is losing its status as the main source of anthropogenic impact (AI), so densely populated areas and the increase in associated impact indicators have caught up with industry. The population outflow in Northern Kazakhstan has a positive effect on the AI level and increases AI in Southern Kazakhstan. The entire variety of scenarios for the dynamics of the impact of material production on the environment can be reduced to four types: *ecological degradation*, when an economic downturn is accompanied by increased environmental pollution; *depressive development*, when an economic downturn is accompanied by decreased pollution; *extensive ecological development*, where economic growth is accompanied by increased pollution; *balanced development*, when economic growth is accompanied by decreased pollution. During crisis years, there was a decrease in industrial pollution, the volume of atmospheric emissions and polluted wastewater, and, to a lesser extent, water consumption; conversely, vehicle emissions, the volume of toxic waste, the area of disturbed lands, and forest fires do not depend on the change in GRP. Despite the fact that for the country as a whole, the dependence of the level of pollution on the level and dynamics of economic development is weakening, with each new crisis, there is an increasing number of regions where the environmental state continues to deteriorate despite the economic downturn.

Keywords: ecological and economic analysis, pollution indicators, integral index ecological stress, ecological situation, anthropogenic impact, complex estimation.

Introduction

Ecological status is gradually becoming a significant factor of regional growth in former Soviet countries. Large-scale social and economic, institutional and technological changes since the early 1990s occurring in the course of the economy's adaptation to market conditions and inclusion of post-Soviet countries in the world market have considerably affected the environment, especially at the regional and city level. The past quarter of the century has seen dramatic changes in the ecological status (ES) in Kazakhstan. New conditions have made their appearance and the importance of ES formation factors has changed: The role of technological factors has gradually decreased; the role of structural industry shifts has increased since it was relatively high-tech processing industries that experienced maximum output reduction. The greater raw-material orientation of economy in Kazakhstan has amplified anthropogenic impact on mining regions, while the largest cities faced a rapid growth of automobilization being an important factor of anthropogenic impact. *Institutional mechanisms have not succeeded in producing ES territories; environmental payments do not*

stimulate a greener economic activity though large private business possesses considerable financial resources for production modernization.

At the same time, the environmental conditions in the industrially developed former Soviet countries rich in natural resources, in particular, Kazakhstan, still bear the features inherited from the period of the Soviet industrialization. Their role can be revealed through a comparative study of the two countries, the industrial complex of which was formed within a single space.

Integral index of anthropogenic impact has been developed to assess changes in environmental conditions in the regions of the Republic of Kazakhstan. The scale and method of the research were chosen based on availability of statistical information for various levels and time periods, comparability of environmental indicators in Kazakhstan and adequacy of the available statistics. In addition to the analysis of the impact of key factors and trends in the ecological status, a comprehensive assessment of the transformation of environmental and economic situation caused by changes in branch and territorial structure of the regional economy is needed. The comprehensive assessment lays the basis for a greater efficiency of environmental investment.

Experimental

Integral indices of environmental conditions started to appear almost simultaneously in the USSR and in the West. However, differences in development conditions of this research method and its purposes, impossibility of sharing practices predetermined separate ways at the initial stage of formation of complex indices. Generalizing the available experience of foreign scientists, governmental and international commissions in this field, it is possible to identify a number of features. First, the use of basic indicators (GDP, gross domestic savings, net domestic product) is normalized based on the cost estimate of depletion of natural resources, ecological damage, natural capital [1–3]. Second, there are integral indicators of sustainable development (ecological sustainability, real progress, etc.) including both indicators of quality of life and ecological indicators [4, 5]. The third important feature is the initial orientation towards the search of indicators reflecting a contribution of the countries to global problems, i.e., ecological footprint, living planet index [6]. Finally, proper environmental indices based on either indicators of anthropogenic impact (air emissions, waste water) or "environmental efficiency" (impact of an ecological factor on human health and ecosystems) [7–9].

Kazakhstan needs a multi-scale environmental research: Country assessments lacking a regional component are unacceptable for countries as vast as they are. Sub-regional assessments are even more promising; however, the ecological statistics at the level of districts and municipalities is too scarce for a comprehensive complex assessment of anthropogenic impact over time. Thus, two levels have been chosen for the research: country and regional, allowing assessment of industry-specific and territorial shifts of areas of anthropogenic impact over time.

Key problems which researchers face while elaborating a technique for impact assessment at the regional level are a weak statistical base, frequent change of calculation procedures and incomparability of some indicators within inter-country comparisons due to various approaches to measurements and calculations. For example, a key group of indicators highly relevant for the assessment of anthropogenic impact connected with the impact on forest resources is less relevant for Kazakhstan. Considering a common group for conventional forests and haloxylon desert woodlands in the Kazakhstan statistics, use of indicators of impact on forest resources demands a careful approach and expert adjustment [10, 11].

Stage 1 included the methodology for the integral assessment of the anthropogenic impact level and the creation of the integral index.

– *Selection of priority components.* Ecological indicators of almost all significant sources of impact were considered: production sector, power industry, motor transport, agriculture and forestry, population as a source of impact (through household waste and indirectly through other indicators), indicators of radiative effects, and others.

– *Selection of indicators* for each group was based on the principles of systematicity, reliability, availability of statistics, pronounced territorial differentiation, clearly interpreted dynamics. Each type of anthropogenic impact has a set of absolute and relative (specified in brackets) indicators: A_1 — density of air emissions of the production sector and motor transport per the acreage of the cities, production sector, transport; A_2 — coefficient of emission toxicity calculated as the ratio of emission volume normalized to a single toxicity to the gross air emission volume; B_1 and B_2 — share of water consumption and wastewater discharge in surface-water supply, respectively; C_1 — solid waste density taking into account their hazard class; C_2 —

share of disturbed industrial lands; D_1 and D_2 — share of cultivated and reclaimed lands respectively; D_3 , D_4 and D_5 — mineral, organic fertilizers and pesticides respectively per 1 hectare of arable lands; D_6 — cattle livestock per the area of pastures; E_1 — share of total standing volume of cut timber; E_2 — the area of felling per calculated cut; E_3 — share of unauthorized felling; F_1 — share of inhabitants in radioactive contamination zones; F_2 and F_3 — soil pollution density with ^{137}Cs radionuclides of the forests and the area, respectively; F_4 — share of lands of the cities, production sector, motor transport polluted by radionuclides; F_5 — share of lands of former nuclear test sites and major accidents related to radioactive pollution.

– *Translation of initial value matrix* for assessment indicators into values normalized for addition of different-sized indicators. The following criteria can be used while selecting normalization principles: the nature of asymmetry of separate indicators, their contribution to the final assessment and interpretation of the totals. While searching for an optimum normalization principle, three most widespread methods were applied: ranking, linear scaling, and logarithmic scaling. Logarithmic scaling proved to be the most acceptable method for the integral index. For the first time, suggested for assessment of territorial differences of anthropogenic impact in the Russian regions, this method not only removes excessive differences of indicators, but also adequately reflects the increasing pollution level parallel to the growing integral index [12].

$$X = \frac{\log_{X_{\min}} X_i}{\log_{X_{\min}} X_{\max}}, x_i \text{ — index value in } i \text{ region.} \quad (1)$$

– *Integral index of anthropogenic impact (IAI)* is calculated through the aggregation of group average values for the above mentioned normalized indicators according to the formula:

$$IAI = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) + \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) + \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) + \left(\frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6}{6} \right) + \left(\frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} \right) + \left(\frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}{5} \right). \quad (2)$$

Stage 2 is the environmental and economic assessment. The discrepancy between the rates of economic growth and consumption of resources or environmental pollution is one of the most important criteria for a «green» economy development. The effect of decoupling is assessed (D_t) [13]:

$$D_t = 1 - \frac{E_t/Y_t}{E_0/Y_0},$$

where E_0 and E_t are indicators characterizing the negative impact on the environment in the base and current periods (volume of emissions, wastewater, waste, volume of water consumption); Y_0 and Y_t are GDP in comparable prices of 2005 in the base and current periods, respectively. A positive value of the coefficient D_t indicates that the increase in value added is accompanied by a decrease in the burden on the natural environment, and a negative value indicates the absence of a decoupling effect.

Stage 3. Correlation between changes in IAI and dynamics of economic indicators.

The entire variety of scenarios for the dynamics of the impact of material production on the environment can be reduced to four types: (1) *ecological degradation*, when an economic downturn is accompanied by increased environmental pollution; (2) *depressive development*, when an economic downturn is accompanied by decreased pollution; (3) *extensive ecological development*, where economic growth is accompanied by increased pollution; (4) *balanced development*, when economic growth is accompanied by decreased pollution [14].

Integral assessment of anthropogenic impact

Integral IAIs were calculated for four time periods: 1990 — the beginning of the transition period, 1998 — the end of crisis, 2003 — the end of the first stage of compensatory growth, 2014 — the most recent available statistics. In general, the results demonstrate the adequacy of the developed technique for identification of territorial differentiation of environmental conditions in large countries (Fig. 1).

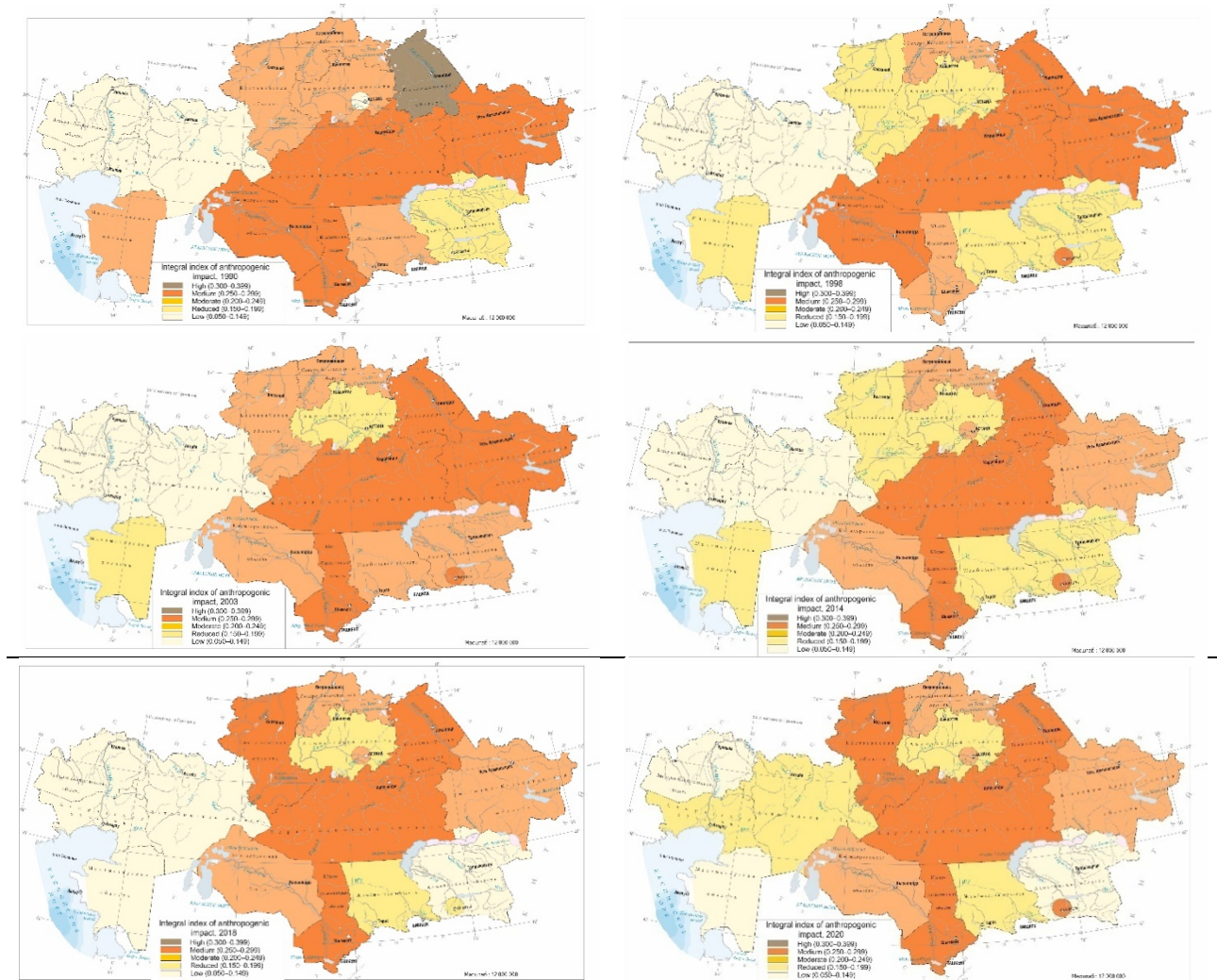


Figure 1. Changes in the integral index of anthropogenic impact in 1998–2020

Note — Compiled by the author based on (Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National statistics <https://stat.gov.kz/>)

The total index has shown a high, though reducing degree of interregional distinctions in terms of the intensity of environmental pressure on the territory of the two countries (from 3.6 to 1.7 times during 1990–2020). Various changing trends in individual factors have also determined the dynamics of the complex regional index after the collapse of the Soviet Union.

Decreasing AI has become an underlying trend, and internal fluctuations corresponded to the dynamics of economic indicators. At the same time, in the early 2000s, during the maximum increase in oil prices, pollution volumes moved to the extracting regions with low population density. Unlike the majority of old developed regions where pollution is localized in the cities, the impact is dispersed across the territory in newly developed extracting regions.

Use of pollution density indices (as compared to absolute values of volumes) moves three types of regions down in rankings. First, large regions with an intense, but rather localized AI (Karaganda). Second, regions with large rivers under serious anthropogenic pressure, but with low density of impact (Atyrau). Third, strong agro-industrial regions (Kostanay) have seen an advancing production decline in the leading agricultural regions with the most intensive agriculture since the 1990s. On the contrary, industrial regions with localized and cities of republican status rise in ranking. Agricultural pressure exacerbates ecological stress in traditionally agrarian regions of Kazakhstan — North Kazakhstan and Akmola.

However, centres of ecological stress, unevenly spread across the territory, are the same for any assessment method. In Kazakhstan, the centre of ecological stress, Pavlodar-Karagandy-East Kazakhstan area,

has actually begun to smear during the considered period due to decreasing impact in the East Kazakhstan region and new centres of ecological stress: oil-extracting West and densely populated South of Kazakhstan.

As in most EAEU countries, in the early 1990s, Kazakhstan experienced a decrease in anthropogenic impact, since 2000, a gradual increase in emissions began and there was a slight decrease in subsequent years. Kazakhstan regions developed differently both during the crisis and during the years of economic growth. A high level of cheap hard and brown high-ash coal availability, ferrous and non-ferrous metal ores has led to a heavy industrial structure formation and the highest levels of anthropogenic pollution for decades in Central and North-Eastern Kazakhstan. All major centers of atmospheric pollution are concentrated here (73 % of air emissions from stationary sources). In metallurgy, the utilization level of toxic substances is traditionally at an average level and, as a result, the regions of its deployment are the emissions source of the most toxic substances. In the Pavlodar region, the largest polluters are the centers of refineries, thermal power plants (Aksu and Pavlodar), and since the 1960s, an energy-intensive aluminum industry has appeared here, which has created a toxic environment in the city. Energy-intensive ferroalloy production appeared on imported quartzites from the Urals in Aksu and Ekibastuz. The emissions' volume in the region was 3 times less than in the Karaganda region, also because there is a high level of emissions purification, mainly due to the utilization of solid compounds from the high-ash coals combustion. However, the Karaganda region has significantly reduced emissions and is now in the second place after the Pavlodar region.

The powerful development of thermal power engineering also determined the largest water intake and wastewater volumes (over a quarter of wastewater discharges in Kazakhstan). Although a significant part of CHP effluents are cooling relatively clean water, with such a high coal mining concentration, metallurgy, chemistry and heavy engineering enterprises, warm water discharged from CHPs creates the problem of synergistic impact.

The consequence of accelerated industrialization to nowadays is environmental problems in the east of the country. The smelting of titanium, magnesium, lead and zinc is a source of highly toxic emissions in Ust-Kamenogorsk and the oldest center of the lead-zinc industry in Altai — Ridder city, operating on their own concentrates. This form of organizing the non-ferrous metals production in the form of large full-cycle plants is associated with the peculiarity of their ores — a low content of pure metal (1–5 %), and even less than one scattered.

Thus, inherited development has determined the territorial concentration level of the most «dirty» industries, the creation of large-scale industries without the required level of purification, etc. in the regions of Central, Eastern and partly Northern Kazakhstan. However, their current growth, which has also led to an increase in pollution since 1996, is associated with the demand for their products on the world market. Kazakhstani metals are bought in more than 30 countries of the world. Therefore, the second factor in the territorial dynamics of the ecological state was the *globalization impact* and the inclusion of regions and cities of Kazakhstan in the world market. It covers the territory of the country unevenly «choosing» the largest cities, regions with the extraction of resources that are in demand on the world market. If for the former inclusion in the global economy led to a decrease in pollution, then for the latter changes in prices for metals and raw materials on the world market had a negative impact on the environmental situation. For the rise in energy prices in stable economies stimulates a reduction in their consumption, and in the conditions of a transforming economy, the focus of which on the export of energy carriers and other resources is only increasing. It leads to the opposite result — a significant increase in resource intensity within the country and an increase in production.

The influence of this factor especially affects the growth of anthropogenic load in the Western Kazakhstan regions. The development of the Embinsky and Mangystau oil and gas provinces and nickel ores in the Aktobe region led to the fact that to this particular region is shifting anthropogenic impact. Only two oil regions (Atyrau and Aktobe regions) in terms of atmospheric pollution by 2005 exceeded the level of 1990. Pollution features in the Western Kazakhstan regions are low anthropogenic impact localization, its exit beyond the city limits into hydrocarbon production areas and the lowest volumes of trapped and neutralized harmful substances due to the low level of associated petroleum gas (APG) utilization. Oil industry enterprises account for the main air pollution share (80–85 %) in Atyrau and Mangystau regions, where the burned gas amount at oil producing enterprises increased from 62 to 65 million m³ in the last year alone.

The massive development of hydrocarbon raw materials is a potential threat to increase the pressure on natural waters, especially the program for the development of offshore fields in the Kazakh sector of the Caspian Sea. The State Program for the Development of the Caspian Shelf provides for special studies to determine the maximum possible level of hydrocarbon production without damaging marine and coastal eco-

systems, the implementation of geodynamic monitoring, the elimination of abandoned oil wells and other historical pollution.

Unique and typical factors in the AI spatial structure formation in the Republic of Kazakhstan determined the identification of regions types according to the time of AI sources formation. The *inherited* development factors of Kazakhstan regions continued to determine the AI levels in most of the old industrial regions: Pavlodar, Karaganda and East Kazakhstan, however, over 25 years of independence, they appeared as new growth centers AI, in which growth is provided by relatively new factors. At the same time, the modernization of metallurgy has led to a significant reduction in pollution in these regions, especially in the East Kazakhstan region.

Population growth, for example, in the South Kazakhstan region, where population growth has changed significantly (15 thousand people per year from 1989 to 1999, 65 thousand people per year from 2009 to 2017), similar processes in Jambyl and Almaty regions, significantly increase the level of anthropogenic impact in these regions. The growth of the rural population most often leads to an increase in pressure on pastures, an increase in sown areas, and in the south of Kazakhstan it causes the greater water withdrawal.

New industrial centers, which include Kostanay and Kyzylorda regions, are still slightly changing the AI map, but in the future, their role will continue to grow. However, the most important factor determining the regional features of the AB transformation is oil and gas production and its environmental consequences in Western Kazakhstan.

The unique factors in the formation of the environmental situation in Kazakhstan are two macro-regional *inherited environmental problems* — the territory of the Semipalatinsk nuclear test site and the Aral Sea. Unique for the post-Soviet space is the *transferring the capital* factor, which contributed to the active economic development of the Astana agglomeration, which led to significant environmental consequences throughout the Akmola region. The presence of the *Almaty agglomeration*, located in complex geological and geomorphological conditions, where the problems of inadequate development of the foothills exacerbated the problem of deteriorating air quality is also one of the unique factors. Among *institutional factors* there is a greater openness of the economy and, as a result, the work of foreign companies in the extractive industry, which are much more efficient than Kazakhstani and Russian enterprises in terms of specific indicators of emissions, wastewater discharges and waste generation per unit of output.

From the spatial distribution point of view the anthropogenic impact, in addition to the existing *central «ridge» of regions* with high anthropogenic impact (Pavlodar, East Kazakhstan, Karaganda and South Kazakhstan), another one an oil-producing area in *Western Kazakhstan* is being formed. Despite the fact that so far only the Atyrau region has average impact indicators, it is obvious that the development and reaching the peak production of large fields (Kashagan, Tengiz, Karachaganak, and others) will move the Western Kazakhstan regions higher in the areas ranking with the highest anthropogenic impact level.

In 8 out of 14 regions of the Republic of Kazakhstan, the integral index has increased over the past 25 years, with Aktobe region becoming the leader in terms of impact growth (there oil and gas fields, expansion of existing metallurgical industries are being active developed). The greatest reduction in the anthropogenic impact level at the regional level is typical for the North Kazakhstan region, where the population has decreased, the impact from agricultural sources has decreased and a number of machine-building enterprises have closed.

The *atmospheric impact level* increased in three types of regions:

- areas for the development of new mineral deposits (oil fields in West Kazakhstan, Atyrau and Aktobe regions);
- copper deposits (in Central Kazakhstan);
- agglomerations of large cities (Astana, Almaty, Shymkent);
- areas for the start of new large-scale production (Pavlodar, Khromtau, Aktobe).

On the contrary, a decrease in the impact was typical for industrial and agricultural regions of the north (Akmola, Kostanay, North Kazakhstan regions); Rudny Altai (city-factories — Ridder, Zyryanovsk); and areas of decline in mining (Mangistau region).

The impact on water sources has decreased due to positive trends in the reduction of irrigated land in the southern regions (the highest level of reduction in water intake was observed in the Almaty region. The reduction amounted to more than 3,682 million m³, almost 54 %. Energy regions (Karaganda and Pavlodar regions) are in second place in terms of reducing the load on the water basin as a result of the recycling water supply introduction. On the third place there are irrigated lands of the Center and the North, where in general

the share of irrigated lands was much less and significantly decreased in recent years, which caused a reduction in water intake (in Akmola region the reduction was by 12 times, in Kostanay region by 4 times).

An *impact on land resources* analysis showed an increase in impact in 4 types of areas: agglomerations of large cities; industrial centers with the growth of production capacities (Karaganda region, Pavlodar region); new oil centers of the West; areas of hazardous wastes from agriculture and industry (Nauyrzym district of Kostanay region). The decrease in impact was typical for old industrial centers, including the Rudny Altai and areas of declining mining (Mangistau region, a number of districts of the Karaganda region).

In the field of *radiation exposure*, there is a general trend of reduction due to natural purification in the absence of large new sources; there is a decrease in the impact in the zone of the Semipalatinsk nuclear test site (regions of the East Kazakhstan region), abrupt changes are impossible in the considered period of time. The hypothesis of an increase in impact with an increase in uranium production (Sozak district of the South Kazakhstan region) and Stepnogorsk city of the Akmola region is not confirmed.

The agricultural impact on the environment

The agricultural impact on the environment in the regions of Kazakhstan is defined, first of all, by the agrarian specialization and the intensity of agricultural production. However, the regions of Kazakhstan are strongly polarized since the majority of regions are developing extensively, but the types of intensive and suburban agricultural complex are presented as well.

The territorial structure of the agrarian complex changed considerably during the transition period, there were both interregional and intraregional shifts along the “North–South” axis, that is, dependent on the natural potential, along the “centre–periphery” axis, shifting loading to the central cities [15, 16]. As a result, since the AI was generally reducing, the loading was redistributed considerably.

An almost overall decrease in **impact of agriculture** during 1990–1998 was replaced by its growth in several regions, not always specializing in agriculture, in 1998–2008 and then by an almost overall growth in recent years that is connected both to the boosting agricultural production and its growing intensity. Therefore, the two leading groups (*with a very high and high impact of agriculture*) incorporate regions with different types of production growth (2020 as compared to 2008). Kazakhstan has only one leader, the Jambyl region, and two regions in the second group, the South Kazakhstan and Kyzylorda regions (Fig. 2). The intensity of AI grew by 20–100 % in all leading regions during 2010–2020.

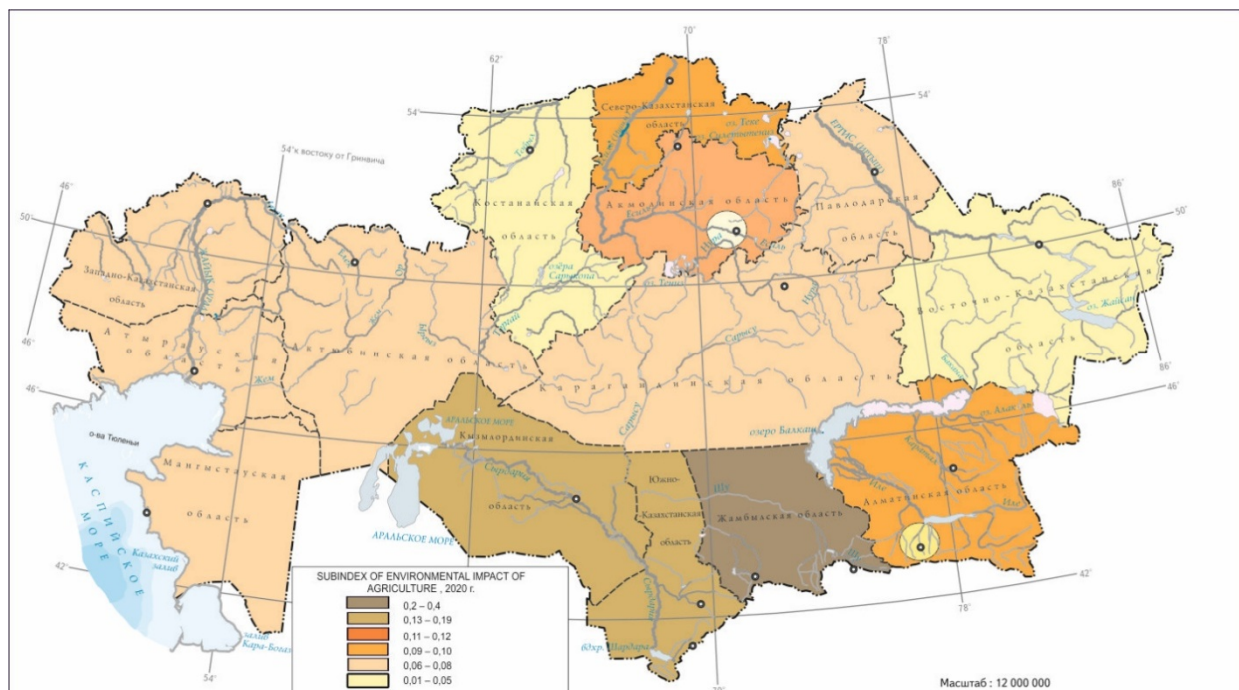


Figure. 2. Assessment of the agricultural impact in the regions of Kazakhstan, 2020

Note — Compiled by the author based on (Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National statistics <https://stat.gov.kz/>)

The moderate impact of agriculture characterizes areas of North Kazakhstan and Almaty regions. Most regions of this type have also witnessed AI growth in recent years. *Lowered, low and constantly lowering AI level* is typical of the majority of regions of Kazakhstan.

The highest rates of AI in the Republic of Kazakhstan are characteristic of two groups of regions. The first group comprises western and northern districts of the Akmola region, northern districts of the Kostanay region and a number of districts of the North Kazakhstan region in the north of Kazakhstan. They have the largest area of the reclaimed lands (up to 90 %), however the agricultural industry is insufficiently intensified. It is mainly fields under cereal crops, most of them belong to agrohholdings and large farms where pesticides are scantily used, and the volume of fertilizers is small. The second group includes southern districts of the Jambyl and South Kazakhstan regions, eastern districts of the Kyzylorda region and a number of districts of the Almaty region. High AI rates here are connected with the maximum share of irrigated lands and water consumption in agricultural industry, application of fertilizers and pesticides on the irrigated fields where vegetables, cotton and cucurbits are grown.

It is possible to identify certain zones of impact concentration based on **impact of agriculture**. Initially they were attributable to the natural environment conditions. The sub-regional level in Kazakhstan demonstrates that the loading is allocated more evenly in the northern regions and still covers large areas, shaping the ecological situation in the regions. On the contrary, the southern regions with a higher AI bigger level are mosaic due to the specialization of territories and, as a result, various resource intensity and volumes of waste.

Structural shifts in national economy, emergence of vertical agrohholdings owning areas comparable to the area of some European countries led to serious changes in the structure of agricultural production. For the last 20 years, since 2000 the greatest gain in agricultural production was typical of the Pavlodar and South Kazakhstan regions in Kazakhstan (a gain of 120 %).

The comparative analysis of the rate of change in agriculture in reference prices and the AI integral index provided for several scenarios:

– *Environmentally extensive development* is characteristic of the majority of regions (65 %) where the growth in agricultural production increased the impact of the agrarian complex. These are the regions with the share of agriculture in GRP of about 20 % (Jambyl, South Kazakhstan). Their fast growth rates are generally ensured through production intensification in individual farms and large agrohholdings.

The increase in agricultural production by 7–100 % led to a proportional growth of impact in some regions with a less intensively developing agrarian complex (North Kazakhstan, East Kazakhstan). The share of agricultural industry in these regions is 5–15 %. The majority of indicators defining AI either increased slightly (volume of mineral fertilizers) or decreased (volume of organic fertilizers, pesticides) during the considered period.

– *Environmentally balanced development*, when the increase in agricultural production is combined with the reduction of impact, was observed in the regions of North and West Kazakhstan (West Kazakhstan, Atyrau, Pavlodar, Kostanay regions). Their share of agricultural industry in GRP is only 1–6 % and is decreasing. Production growth in some of the regions is explained by the effect of a low base, AI indicators are low, perhaps some impact is just underestimated in this group of extensively developing regions: despite the considerable ploughing the degree of erodibility is not considered. In this case it would be better to discuss not the quality of growth, but the underestimation of ecological consequences of extensive development.

In general, the factor of production growth remains the leader in the formation of ecological impact of the agrarian complex. The script of environmentally balanced development is based rather on the defects of relative indicators in the regions far from agrarian specialization. The trend when with a growth of intensification, the loading is growing twice more slowly than production appears to be the most positive scenario.

Despite considerable economic shifts and transition to a new type of economy, the inherited factors still play a crucial role in the ranking of regions. Almost all regions with a very high level of anthropogenic impact have large industries since the USSR that determine specialization of the region.

Environmental rankings of regions based on the complex index are an efficient way of determining the priorities of environmental policy. The integral index provides new insights into the complexity and versatility of the environmental conditions. But a clear understanding of calculation specifics of the complex indicator is necessary to make the ranking a convenient decision-making tool in terms of environmental control and environmental management. The selected AI measurement technique considerably affects the outcome. It is important to use AI density for large countries with isolated intense sources of impact and extensive unaffected territories. Moreover, Kazakhstan that has experienced essential changes of agricultural areas (ara-

ble lands, pastures have reduced in the regions by 30–50 %) and urban lands during the land reform has the territorial structure of the intensity integral index considerably changed towards increase since 2003, while the indices for 1990 and 1998 prove to be underestimated.

Correlation between changes in IAI and dynamics of economic indicators

The dependence of GDP growth in Kazakhstan on industrial growth is still strong (the correlation coefficient is 0.95), but the dependence of pollution indicators on GDP is gradually decreasing. In 2000, a “decoupling” effect appeared, when emissions and sinks increased many times more slowly than industrial production.

Structural shifts in industry, assessed by the indicator of changes in the heavy industries share as a factor in the atmospheric pollution dynamics, naturally showed that countries with the least heavy industrial structure (Moldova, Belarus) reduced the amount of emissions into the atmosphere to the maximum. At the same time, the share of heavy industries itself remains constant because of the development in all countries with hydrocarbon resources, their active production. However, the decoupling coefficient, on the contrary, shows that the development of the industry in Russia and Kazakhstan, with more modern technologies introduction, in particular, the utilization of associated petroleum gas, leads to a more environmentally friendly development of both the industry and its regions of deployment (Tab. 2).

Table 2

Assessment of the structural shifts in the industry impact on changes in the emissions volume into the atmosphere in the EAEU countries 2005–2020

EAEU countries	Air Emissions Index 2005=100 %	The average value of the share of heavy industries, %	Heavy industry share index, 2005=100 %	Decoupling index, D_t
Armenia	22,2	50,9	82,9	-0,21
Belarus	39,3	14,5	52,0	-0,01
Kazakhstan	54,9	77,4	97,0	0,29
Kyrgyzstan	33,5	67,1	92,6	-0,15
Moldova	4,7	12,7	90,9	0,30
Russia	55,0	45,3	87,9	0,28

Note — Compiled by the author based on (Interstate Statistical Committee of the Commonwealth of Independent States, <http://new.cisstat.org/web/eng/Interstate>)

The scenarios for a change in IAI with respect to GRP have in terms of space a greater mosaic pattern than for individual indicators; the structural dependence coefficients show hardly any dependence. The maximum level of dependence was observed during the crisis period of 1991–1998. In almost all regions, the IAI decreased, but in oil and most depressed regions, it increased; as a result, a degradation scenario developed.

During the 2008–2009 crises, the IAI continued to decline in half the regions, forming a mosaic pattern of different scenarios. The greatest decrease was in the volumes of emissions and AI on water sources, forests, and agricultural load. In the regions dominated by the mining industry in the structure of sources of impact, the IAI continued to increase with decreasing GRP (Fig. 3).

In contrast to air pollution and, to a lesser extent, surface water pollution, the IAI index demonstrates a significantly lower dependence on the dynamics of GRP and industrial production. However, particular indicators also do not correlate with GDP or industrial production: in general, for 1990–2020, a statistically significant correlation coefficient is observed only with the volume of polluted wastewater in industry. However, in 1990–1998, most of the environmental load indicators (except for the volume of toxic waste) are characterized by a high degree of dependence. During the 1999–2008 economic growth period a high correlation was preserved for the volume of emissions and polluted wastewater in industry, and after 2008, for the volume of polluted wastewater and waste.

In the early 2000s, when growth rates were at their highest, GRP increased in all regions. However, most regions also increased the level of pollution during this period. Decrease in IAI with an increase in GRP was observed only in Pavlodar, North Kazakhstan and East Kazakhstan regions as a result of reduced pollution. Astana's rapid growth has also not been accompanied by an increase in pollution.

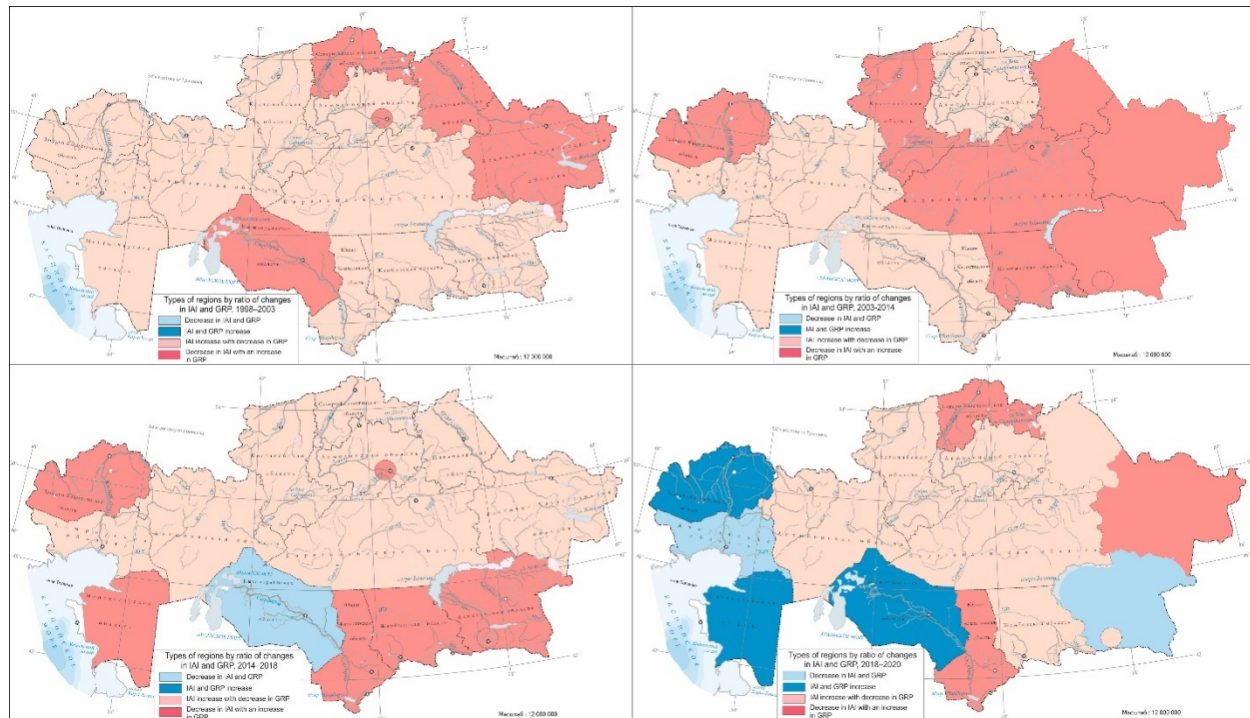


Figure 3. Ratio of changes in AI index and GRP during crisis periods, % compared to previous period

Note — Compiled by the author based on (Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National statistics <https://stat.gov.kz/>)

The largest number of regions developing according to the balanced scenario is typical for the period of stable economic growth in the 2010s, when most regions of northern and central Kazakhstan continued to reduce the impact level. However, since not all enterprises underwent modernization, the energy sector in these regions retained coal as a fuel, economic growth slowed down, and the regions returned to an extensive development scenario. In addition, the 2020 crisis linked to the COVID–19 pandemic slowed economic growth while maintaining pollution. As a result, the southern and western regions developed according to a depressive and even degradation scenario.

Conclusions

The integral index showed that in the post-Soviet period, inherited environmental problems and new sources of impact determined the spatial shift of anthropogenic impact at the regional level from the North and East to the South and West. Industry is losing its status as the main source of AI- densely populated areas and the increase in associated impact indicators have caught up with industry. The outflow of the population in Northern Kazakhstan has a positive effect on the level of AI and increases AI in Southern Kazakhstan. By 1991, a «framework» of regions with the highest anthropogenic impact level was formed in the Republic of Kazakhstan, which included the Central-Eastern part of Kazakhstan (Pavlodar, East Kazakhstan and the north of Karaganda region) and the North (with a lower anthropogenic impact level). Nevertheless, in subsequent years, there was a shift in anthropogenic impact in two directions:

- Southern direction. An anthropogenic impact growth was associated with a sharp increase in the population and, accordingly, an increase in population density, the level of motorization, household waste, and in rural areas such as an increase in the area of irrigated land and water intake;
- Western direction. The growth of anthropogenic impact was associated with an increase in oil production — especially in the Atyrau region, and, accordingly, there was an increase in emissions into the atmosphere, changes in the toxicity of emissions, the area of disturbed lands, etc.

Key factors maintaining territorial structure of AI areas in Kazakhstan:

1. Inherited development. The largest AI centres in the territorial structure are still the regions where the industrial base was developed and formed back in the Soviet period: Pavlodar and Karaganda regions. Despite low efficiency and insignificant economic feasibility related to production and extraction of some minerals, a number of large enterprises, seriously harming the environment, continue to exist. It is all the fault of

the existing structure of population settlement (miner's towns) and impossibility to move people from depressive monotowns.

The influence of the inherited factors is clearly demonstrated in the following areas:

- energy intensity of the leading industries combined with the structure of *fuel balance* in power industry and housing and public utilities in the eastern part of the country. The greatest energy intensity is still typical of large industrial regions with a high level of environmental stress, and of the most environmentally safe regions generally because of the increased coal consumption by municipal services;
- industrial specialization, age and quality of assets. The institutional environment and the policy of companies define the extent of asset modernization; the velocity and sometimes the direction of the process vary. The industrial impact is decreasing, most rapidly in the oil sector, but the industry remains a leading and most dynamic factor influencing the ecological status;
- accumulated radiation pollution is a specific factor in a number of regions, but its role is gradually decreasing.

2. Institutional factor. Despite the stated models of the free market and general privatization, only few foreign companies could establish full control over large industrial enterprises which has contributed to the stability of the territorial structure of AI areas.

Factors influencing transformation of AI territorial structure:

1. Becoming part of the global resource market. Soaring hydrocarbon prices have caused active development of oil and gas fields in the Western regions of Kazakhstan. It created new AI centres in the Western Kazakhstan: increase in oil production of the Atyrau region from 2.5 million tons in 1990 up to 31.9 million tons in 2014, development of the Karachaganak oil and gas field in the West Kazakhstan region caused increase in oil production from 4 million tons in 1990 to 13 million tons in 2014.

2. Institutional factor. Emergence of the western companies in mining and manufacturing industry of Kazakhstan has reduced the level of environmental impact in terms of specific indicators, for example, Kazakhstan has emissions almost twice less than Russia per unit of oil produced. It influences the territorial structure of pollution areas: new industrial centres in Kazakhstan are less significant on a national scale than in Russia (based on relative measures).

3. State environmental policy.

4. Reaching the limit of ecological capacity in some regions. Most of regions in Kazakhstan are located within semi-arid and arid zones where ecological limits of water sources, pastures and arable lands are almost reached. When using relative measures, the Mangystau and South Kazakhstan regions demonstrate high specific rates of anthropogenic impact on limited water sources and land resources. Therefore, any minimum increase of anthropogenic impact in regions with ecological capacity close to its limits leads to a serious degradation of the environment.

5. Demographic changes as a factor transforming the territorial structure of anthropogenic impact are typical of Kazakhstan that has AI increasing in the South due to population growth and falling in the North due to depopulation.

Therefore, integral assessment of environmental conditions in the regions of Kazakhstan has revealed — the solution to modern environmental problems lies in a compromise between the demand for an intense economic development and the need for environment protection. Despite considerable positive changes in the national environmental policy, advance economic development regions possessing competitive advantages still tend to have a high AI level.

Acknowledgements

The work was supported by the research work “Current dynamics and factors of socio-economic development of regions and cities of Russia and neighbouring countries”

References

- 1 Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. UNEP, 2011.
- 2 Dixon J. Promoting Market-oriented Ecological Compensation Mechanisms: Payment for Ecosystem Services in China / J. Dixon, X. Jian // World Bank. Washington DC, 2009.
- 3 Green Growth. Strategy Interim Report: Implementing Our Commitment for a Sustainable Future. Paris, OECD, 2010.

- 4 Scandinavian Destination. Sustainability Index. Assessing and reporting on the sustainability performance of Scandinavian major meetings destinations. — Scandinavian Chapter of the International Congress and Convention Association (ICCA), MCI Sustainable Services, 2012.
- 5 Sustainable Cities Index. Balancing the economic, social and environmental needs of the world's leading cities. Arcadis, 2015.
- 6 The Ecological Footprint Atlas. Brad Ewing, Steven Goldfinger, Mathis Wackernagel, 2008.
- 7 National Civic Review. Wiley Periodicals, Inc., A Wiley Company // Special Issue: Twenty-Five Years of Healthy Communities: Part 1. Winter. — 2013. — Vol. 102 (4). — P. 3–78.
- 8 Sino-Singapore Tianjin Eco-City. A Case Study of an Emerging Eco-City in China (Technical Assistance (TA) Report). The World Bank, AusAID, November 2009.
- 9 The Green City Index. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Siemens AG Corporate Communications and Government Affairs, Munich, Germany, 2012.
- 10 Битюкова В.Р. Методы комплексной оценки региональных различий экологической напряженности в России / В.Р. Битюкова, П.Л. Кириллов // Региональные исследования. — 2011. — № 2 (32). — С. 56–69.
- 11 Environment Protection and Sustainable Development in Kazakhstan. Committee on Statistics. Astana/Almaty, 1995–2020.
- 12 Bityukova V.R. Assessing the Ecological Status in Regions of Russia and Neighbouring Countries. Current Trends in Landscape Research / V.R. Bityukova // Innovations in Landscape Research. Cham. — 2019. — P. 455–466.
- 13 Nagvi A. Fifty shades of green: Revisiting decoupling by economic sector and air pollutants / A. Nagvi, K. Zwickl // Ecological Economics. — 2017. — Vol. 133. — P. 111–126.
- 14 Bityukova V.R. (2021). Regional Projection of Environmental Consequences of Crises in the Russian Economy / V.R. Bityukova // Regional Research of Russia. — 2021. — Vol. 11 (4). — P. 656–666.
- 15 Нефедова Т.Г. Десять актуальных вопросов о сельской России: ответы географа / Т.Г. Нефедова. — М.: Ленанд, 2021. — 456 с.
- 16 Umbetpaev A.T. Sanitary problems of combined pesticide impact / A.T. Umbetpaev // International Journal on Immunorehabilitation. — 2009. — Vol. 11 (1). — P. 152–157.

В.Р. Битюкова

ҚР 1990-2020 жылдардағы экологиялық жағдайдың өзгеруіне экологиялық-экономикалық баға беру

Мақала Қазақстан өңірлеріндегі экологиялық күйзеліс деңгейін бағалайтын антропогендік әсерді (АӘ) қалыптастырудың кешенді индексі (КИ) айқындау проблемаларына арналған. Экологиялық мониторинг үшін антропогендік күйзеліс көрсеткіштерінің жүйесі негізделген, өйткені көрсеткіштерді қалыптастыру мен біріктірудің әртүрлі әдістері қарастырылған. Әртүрлі бағалаулардың нәтижелері келтірілген. Ластанудың аумақтық құрылымын трансформациялау факторлары анықталған. АӘ посткеңестік кезеңде мұраға қалған экологиялық проблемалар мен жаңа әсер ету көздері Солтүстік пен Шығыстан Оңтүстік пен Батысқа өңірлік деңгейде кеңістіктік жылжудың антропогендік әсерін анықтағанын көрсетті. Өнеркәсіп антропогендік әсер етудің негізгі көзі мәртебесін жоғалтады, сондықтан тығыз қоныстанған аудандар және ықпал етудің ілесіп көрсеткіштерінің ұлғаюы өнеркәсіппен теңесті. Солтүстік Қазақстанда халықтың кетуі КИ деңгейіне оң әсер етеді және Оңтүстік Қазақстанда АӘ-ны ұлғайтады. Материалдар өндірісінің қоршаған ортаға әсер ету динамикасы сценарийлерінің барлық спектрін негізінен төрт түрге бөлуге болады: экономикалық құлдырау, яғни қоршаған ортаның ластануының күшеюімен қоса жүретін экологиялық тозу; экономикалық құлдырау ластану деңгейінің төмендеуімен қатар жүретін депрессивті даму; экономикалық өсу ластануды күшейтумен қоса жүретін орнықты экологиялық даму; экономикалық өсу ластанудың азаюымен қоса жүретін теңгерімді даму. Дағдарыс жылдары өнеркәсіптік ластанудың, атмосфералық шығарындылар мен ластанған сарқынды сулар көлемінің және аз дәрежеде суды тұтынудың төмендеуі байқалды; және керісінше, көлік құралдарының шығарындылары, улы қалдықтардың көлемі, бүлінген жерлердің ауданы және орман өрттері КИ өзгеруіне байланысты емес. Жалпы ел үшін ластану деңгейінің экономикалық даму деңгейі мен динамикасына тәуелділігі әлсірегеніне қарамастан, әрбір жаңа дағдарыспен экономикалық құлдырауға қарамастан экологиялық жай-күйі нашарлап бара жатқан өңірлер саны өсуде.

Кілт сөздер: экологиялық-экономикалық талдау, ластану көрсеткіштері, экологиялық күйзелістің интегралдық индексі, экологиялық жағдай, антропогендік әсер, кешенді бағалау.

Эколого-экономическая оценка изменения экологической ситуации в Республике Казахстан в 1990–2020 гг.

Статья посвящена проблемам определения комплексного индекса формирования антропогенного воздействия (КИ), оценивающего уровень экологического стресса в регионах Казахстана. Обоснована система показателей антропогенного стресса для экологического мониторинга, поскольку рассмотрены различные методы нормализации и агрегирования показателей. Приведены результаты различных оценок. Выявлены факторы трансформации территориальной структуры загрязнения. Показано, что в постсоветский период унаследованные экологические проблемы и новые источники воздействия определили антропогенное воздействие пространственного сдвига на региональном уровне с Севера и Востока на Юг и Запад. Промышленность теряет свой статус основного источника антропогенного воздействия (АВ), поэтому густонаселенные районы и увеличение сопутствующих показателей воздействия сравнялись с промышленностью. Отток населения в Северном Казахстане положительно сказывается на уровне КИ и увеличивает АВ в Южном Казахстане. Весь спектр сценариев динамики воздействия производства материалов на окружающую среду можно, в основном, свести к четырем типам: экологическая деградация, когда экономический спад сопровождается усилением загрязнения окружающей среды; депрессивное развитие, когда экономический спад сопровождается снижением уровня загрязнения; устойчивое экологическое развитие, где экономический рост сопровождается усилением загрязнения; сбалансированное развитие, когда экономический рост сопровождается уменьшением загрязнения. В кризисные годы наблюдалось снижение промышленного загрязнения, объемов атмосферных выбросов и загрязнённых сточных вод, и, в меньшей степени, потребления воды; и наоборот, выбросы транспортных средств, объем токсичных отходов, площадь нарушенных земель и лесные пожары не зависят от изменения КИ. Несмотря на то, что для страны, в целом, зависимость уровня загрязнения от уровня и динамики экономического развития ослабевает, с каждым новым кризисом растет число регионов, где экологическое состояние продолжает ухудшаться, несмотря на экономический спад.

Ключевые слова: эколого-экономический анализ, показатели загрязнения, интегральный индекс экологического стресса, экологическая ситуация, антропогенное воздействие, комплексная оценка.

References

- 1 (2011). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. UNEP.
- 2 Dixon, J., & Jian, X. (2009) Promoting Market-oriented Ecological Compensation Mechanisms: Payment for Ecosystem Services in China. World Bank. Washington DC.
- 3 (2010). Green Growth. Strategy Interim Report: Implementing Our Commitment for a Sustainable Future. Paris, OECD.
- 4 Scandinavian Destination. Sustainability Index (2012). Assessing and reporting on the sustainability performance of Scandinavian major meetings destinations. — Scandinavian Chapter of the International Congress and Convention Association (ICCA), MCI Sustainable Services.
- 5 Sustainable Cities Index (2015). Balancing the economic, social and environmental needs of the world's leading cities. Arcadis.
- 6 The Ecological Footprint Atlas (2008). Brad Ewing, Steven Goldfinger, Mathis Wackernagel.
- 7 National Civic Review (2013). Wiley Periodicals, Inc., A Wiley Company. Special Issue: Twenty-Five Years of Healthy Communities: Part 1. Winter, 102 (4); 3–78.
- 8 Sino-Singapore Tianjin Eco-City (2009). A Case Study of an Emerging Eco-City in China (Technical Assistance (TA) Report). The World Bank, AusAID, November, 2009.
- 9 The Green City Index (2012). A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Siemens AG Corporate Communications and Government Affairs, Munich, Germany, 2012.
- 10 Bitjukova, V.R., & Kirillov, P.L. (2010). Metody kompleksnoi otsenki regionalnykh razlichii ekologicheskoi napriazhennosti v Rossii [Methods of complex estimation of regional differences in ecological stress in Russia]. *Regionalnye issledovaniia — Regional research, 1*; 56–69 [in Russian].
- 11 Environment Protection and Sustainable Development in Kazakhstan. Committee on Statistics. Astana/Almaty, 1995–2020.
- 12 Bitjukova, V.R. (2019). Assessing the Ecological Status in Regions of Russia and Neighbouring Countries. Current Trends in Landscape Research, *Innovations in Landscape Research*. Cham, 455–466.
- 13 Nagvi, A., & Zwickl, K. (2017). Fifty shades of green: Revisiting decoupling by economic sector and air pollutants. *Ecological Economics*, 133; 111–126.
- 14 Bitjukova, V.R. (2021). Regional Projection of Environmental Consequences of Crises in the Russian Economy. *Regional Research of Russia, 11* (4); 656–666.

15 Nefedova, T.G. (2021). Desiat aktualnykh voprosov o selskoi Rossii: otvety geografa [Ten relevant questions about agricultural Russia: geographer's answers]. Moscow: Lenand [in Russian].

16 Umbetpaev, A.T. (2009). Sanitary problems of combined pesticide impact. International Journal on Immunorehabilitation, 11 (1); 152–157.

Г.Н. Чистякова^{1*}, Г.М. Салыкбаева², С.М. Досмахов¹,
Л.Т. Кожакметова¹, А.О. Кулмаганбетова¹

¹Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

²Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор для корреспонденции: shi_gal_nik@mail.ru

Растениеводство Северо-Казахстанской области как основа сельскохозяйственного кластера и обеспечения продовольственной безопасности населения

В статье рассмотрены особенности развития и размещения растениеводства Северо-Казахстанской области, являющейся основной ключевой отраслью сельскохозяйственного кластера региона и основой обеспечения продовольственной безопасности населения. Целью работы явилось выявление современного состояния и тенденций развития отрасли. Применяя экономико-географический метод исследования, автор приходит к выводу, что для обеспечения продовольственной безопасности, как населения отдельной области, так и страны, в целом, возможно с помощью решения двух основных задач. Это переход на инновационный путь развития и ускорение импортозамещения продукции. Все это ставит перед АПК важную стратегическую задачу повышения эффективности производства в сельском хозяйстве, в том числе и в растениеводстве. Северо-Казахстанская область, являясь одним из ведущих регионов в структуре сельскохозяйственного производства Республики Казахстан, является наиболее интересной с научной точки зрения для изучения поставленных задач.

Ключевые слова: Северо-Казахстанская область, сельскохозяйственный кластер, кластерная политика, аграрный сектор, кооперация, растениеводство, земельный фонд, валовая продукция, структура посевной площади, валовой сбор, урожайность культур, агротехнология, сельскохозяйственные инвестиции.

Введение

Современный Казахстан является государством, обладающим мощным потенциалом, чтобы стать ведущим мировым производителем сельскохозяйственной продукции в эпоху общемировой экономической нестабильности, климатических изменений и плавающей системы ценообразования. В стране исторически сложились сильные сельскохозяйственные традиции.

Сельское хозяйство Казахстана является одной из важнейших отраслей экономики государства. Уровень развития аграрного сектора всегда выступал и продолжает быть определяющим фактором экономической и общественно-политической стабильности граждан Республики Казахстан. Стоит отметить, что ежегодно сельское хозяйство приносит 38 % совокупного национального дохода. В данной сфере занято около 17 % рабочей силы государства. Последние годы были отмечены хорошими урожаями зерна, и это помогло Казахстану усилить свои глобальные способности в сфере стабилизации цен в СНГ и улучшить свои перспективы в плане обеспечения продовольственной безопасности в регионах своей страны. В стране работает более 31000 сельскохозяйственных предприятий (акционерные общества, хозяйственные товарищества), около 32000 крестьянских (фермерских) хозяйств. Насчитывается более 2 млн личных хозяйств/подворий населения [1].

Государственная поддержка аграрного сектора, кооперация, и в том числе создание и развитие кластерной политики в Казахстане, способствует благоприятным прогнозам развития сельского хозяйства страны, в том числе и в Северо-Казахстанской области.

Обзор состояния сельского хозяйства

Состояние сельского хозяйства непосредственно влияет на продовольственную безопасность населения. Для экономико-географической оценки состояния сельскохозяйственного кластера и продовольственной безопасности населения Северо-Казахстанской области рассмотрим показатели, характеризующие состояние сельского хозяйства области, в частности, растениеводства.

Северо-Казахстанская область — одна из ведущих областей в структуре сельскохозяйственного производства Республики Казахстан. Территория области входит в пшеничный пояс страны и по праву относится к целинным областям.

Северо-Казахстанская область занимает 3,6 % территории Республики, при этом дает 16 % валовой продукции сельского хозяйства, или 26,5 % сбора зерновых культур [2].

Северный Казахстан отличается преобладанием растениеводства, которое в сложившихся социально-экономических и имеющихся природных условиях области оказалось наиболее конкурентоспособным и сумело занять свою нишу на рынках стран СНГ и дальнего зарубежья.

Растениеводство — одна из основных отраслей сельскохозяйственного производства Казахстана. Отрасль занимается возделыванием культурных сельскохозяйственных растений и является важнейшим поставщиком продуктов питания для человека, кормов для животных и технического сырья для промышленности.

Из 9,8 млн га общей площади Северо-Казахстанской области 8,4 млн га составляют земли сельскохозяйственных угодий, из которых на пашни приходится 4,2 млн га (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Наличие и использование земельного фонда Северо-Казахстанской области**

№ п/п	Категория земли	Площадь, тыс. га	С/х угодья, тыс. га	В т.ч. пашни, га	%
1	Земли сельскохозяйственного назначения	6406,9	6144,2	4138,0	65,4
2	Земли населенных пунктов	936,9	767,5	17,6	9,6
3	Земли транспорта и иного (несельскохозяйственного) назначения	62,9	13,0	0,0	0,6
4	Земли лечебно-оздоровительного назначения	0,2	0,0	0,0	0,0
5	Земли лесного фонда	680,8	68,0	4,1	6,9
6	Земли водного фонда	142,4	1,5	0,0	1,4
7	Земли запаса	1574,2	1399,2	67,6	16,1
8	Итого земель	9804,3	8393,4	4227,3	100

**Примечание. Составлено автором по данным [3].

Проанализировав валовую продукцию растениеводства и животноводства Северо-Казахстанской области, можно сделать вывод, что объем валовой продукции сельского хозяйства по итогам 2019 г. составил 630995,6 млн тг (без учета услуг), что почти в 2,4 раза превышает уровень 2013 г. (рис. 1). Наибольшая доля производства приходится на продукцию растениеводства — 470836,3 млн тг (75 %), тогда как продукция животноводства составляет 25 % с объемом 160159,3 млн тг. Динамика валового выпуска продукции сельского хозяйства имеет положительную тенденцию, преимущественно за счет растениеводства.

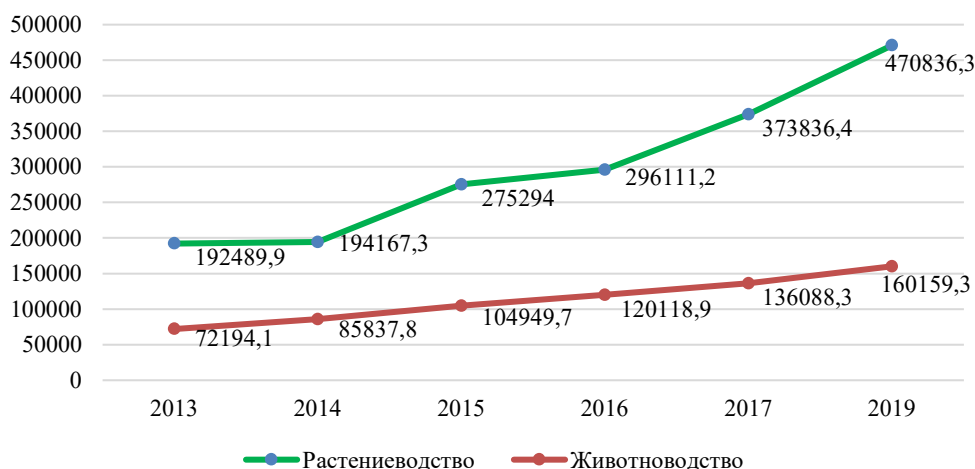


Рисунок 1. Валовая продукция растениеводства и животноводства Северо-Казахстанской области за 2013–2019 годы, в млн тг (составлено по данным [4–6])

В рейтинге регионов Республики Казахстан по валовому сбору зерновых и зернобобовых культур (доля 26,5 %) и масличных культур (доля 28 %) по итогам 2019 г. Северо-Казахстанская область занимает 1-е место в Республике. По валовому сбору овощей (доля 5,5 %) область занимает 5-е место, в том числе по сбору картофеля (доля 15,2 %) — 2-е [3].

Наибольшая урожайность по зерновым культурам в период с 2013 по 2018 гг. получена в следующих районах: Кызылжарском, Есильском, М. Жумабаева и Аккайынском. В числе лидеров по урожайности пшеницы оказались Кызылжарский, М. Жумабаева, Аккайынский районы.

Зерно и продукты его переработки имеют особую важность в продовольственном обеспечении населения. Более 40 % дневной потребности в еде, от 40 до 50 % — в белке и углеводах удовлетворяется человеком за счет продуктов растениеводства. Зерно и его производство имеет большую социальную значимость, обусловленную следующими фактами:

- обеспечивает население хлебом и хлебными изделиями, ничем не заменимых продуктов питания повседневного спроса;
- возможностью создания резервных фондов как составной части продовольственной безопасности страны.

Преобладание возделывания зерновых культур в исследуемом регионе объясняется рядом факторов. Первый фактор — благоприятные природные условия, позволяющие выращивать высококачественное зерно, из которого впоследствии переработки получают муку первого и высшего сорта (табл. 2). Второй фактор — наиболее низкое соотношение по формуле «затраты–отдача», то есть наиболее низкая себестоимость среди растениеводческих культур.

Т а б л и ц а 2

Структура посевных площадей СКО за период 2013–2019 гг. (тыс. га)*

№ п/п	Культура	Годы					
		2013	2014	2015	2016	2017	2019
1	Посевная площадь всего	4362,3	4346,5	4370,2	4372,7	4317,6	4238,9
2	Зерновые и зернобобовые	3572,2	3273,7	3212,9	3219,3	3090,6	2861,6
3	Масличные	437,8	597,0	470,5	508,2	709,6	969,0
4	Кормовые	319,7	443,4	653,7	612,4	484,6	368,2
5	Картофель	27,5	27,2	27,9	27,5	27,8	34,0
6	Овощи	5,1	5,2	5,2	5,3	5,0	6,2

*Примечание. Составлено автором по данным [4, 7].

Из таблицы 2, видно, что структура посевных площадей в Северо-Казахстанской области незначительно меняется в сторону увеличения посевов масличных, картофеля и овощей. Тем не менее большую часть посевных площадей занимают зерновые и зернобобовые культуры [7].

В 2019 г. по сравнению с 2013 г., вся посевная площадь сельскохозяйственных культур, в целом, уменьшилась на 123,4 тыс. га и составила 4238,9 тыс. га. Такое резкое сокращение площади посева связано с увеличением площади земли под пар. В агротехнике различных культур присутствует понятие правильного чередования семенного оборота и вспашки пашни с целью уничтожения сорняков. Пар является важным элементом агротехники культур. Он представляет собой вспаханное поле, оставляемое на одно лето незасеянным. Пар помогает сохранить и восстановить естественное плодородие почвы.

В Северо-Казахстанской области успешно используется технология кулисного пара. На поле, предназначенном под кулисный пар, с осени обрабатывают почву на глубину 10–12 см. На следующий год весной или летом высевают кулисные растения (кукурузу, подсолнечник и др.). Весной до посева кулисных растений проводят боронование. Летом закладку кулис совмещают с очередной культивацией пара. Летние посевы облегчают уход за паром весной и в начале лета (до закладки кулис) и меньше иссушают почву. Данный метод является одним из надёжных средств повышения урожайности зерновых культур в засушливых районах, особенно в годы с суровыми зимами и недостаточным снежным покровом [8].

Площадь зерновых и зернобобовых культур в 2019 г. снизилась относительно предыдущего периода и составила 67,5 % от всей посевной площади области. В этом же году удельный вес масличных культур в посевной площади составил 22,8 %, кормовых — 8,6, картофеля — 1 и овощей — 0,1

% (рис. 2). Такие изменения связаны с тем, что Министерство сельского хозяйства Казахстана увязывает стабильность аграрной отрасли с необходимостью ее диверсификации.

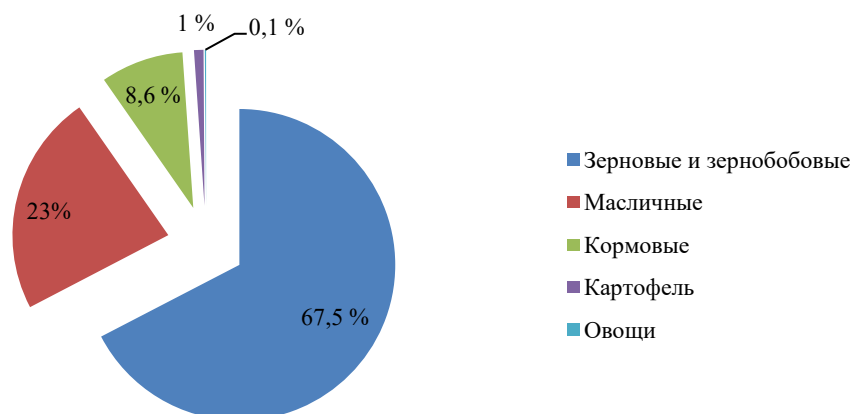


Рисунок 2. Структура посевных площадей СКО за период 2013–2019 гг. (тыс. га)

В принятой в феврале 2017 г. Государственной программе развития АПК РК на 2017–2021 годы обозначена конкретная задача в этом направлении: снизить долю пшеницы в казахстанской пашне с нынешних 64 % до 46 %, заменив ее масличными, фуражными, кормовыми, бобовыми культурами [9].

Отказ от пшеницы и переход на альтернативные культуры позволят заработать намного больше, чем на традиционном выращивании зерна. Так же, по данным агрономических исследований, длительное возделывание зерновых культур (в основном, пшеницы) в чередовании с паром, негативно сказывается на плодородии почвы, что ослабляет устойчивость земледелия. Диверсификация растениеводства, путем возделывания альтернативных культур, может сделать вклад в решение этой проблемы. Эти культуры могли бы также заменить часть пара, из-за которого усиливается ветровая и водная эрозии. Диверсификация растениеводства, или выращивание параллельно других культур, может оказать положительный эффект на снижение риска в агробизнесе. При этом конечный доход производителя будет зависеть не только от пшеницы, но также и от других культур.

В Северо-Казахстанской области диверсификация в растениеводстве направлена на повышение доли земли именно под масленичные культуры. К таким культурам относятся растения, семена и плоды которых богаты растительным жиром (маслом). Растительное масло, наряду с животными жирами, имеет большое пищевое значение как высококалорийный продукт. Одна весовая единица масла по питательности приравнивается к 2,3 единицам сахара, 4 единицам хлеба, 8 единицам картофеля.

В последние годы в стране и ее регионах объемы потребления растительного масла растут, а животного жира — снижаются. Это объясняется тем, что для здоровья человека растительные масла имеют ряд преимуществ перед жирами животного происхождения, в том числе перед сливочным маслом. Кроме того, с экономических позиций производство растительных масел более выгодно. Для производства 1 т растительного масла требуется лишь 1–1,5 га пашни, в то время как для получения 1 т сливочного масла необходимо 10 га земли (эта площадь потребуется для содержания 10 коров со средним удоем 3000 кг молока жирностью 3,5 %). Растительное масло употребляется непосредственно в пищу. Применяют его при изготовлении консервов, кондитерских изделий, маргарина. При этом специалисты отмечают, что для повышения рентабельности аграрного сектора экономики также нужно решать и другие вопросы: увеличить доступность транспортных услуг и создать мощную систему сельскохозяйственной переработки.

Северо-Казахстанская область полностью обеспечивает свои внутренние потребности в картофеле и овощах за счет продукции собственного производства.

Основные зерновые сельскохозяйственные культуры, выращиваемые в Северо-Казахстанской области, представлены пшеницей (озимой и яровой), ячменем и овсом. В меньшем количестве выра-

щивают гречиху, горох, чечевицу и просо. Из зерновых и зернобобовых практикуют выращивание таких культур, как нут, полба, озимая рожь, фасоль.

Масличными культурами, выращиваемыми на территории Северо-Казахстанской области, являются рапс, лён и подсолнечник. В небольших количествах выращивают горчицу, озимый и яровой рыжик, сою.

Кормовые культуры представлены кормовыми культурами на силос, однолетними зерновыми и зернобобовыми, кукурузой на корм, однолетними и многолетними травами.

В области выращивают такие виды овощей, как морковь, капуста, лук, свекла, помидоры, огурцы и др.

Под урожаем или валовым сбором сельскохозяйственных культур подразумевается общий размер продукции, полученной со всей площади в данном году в хозяйстве, районе, области. Под урожайностью же понимается средний сбор продукции с единицы площади (га). Следовательно, урожай, или валовой сбор, — это общий объём производства той или иной сельскохозяйственной культуры, а урожайность — продуктивность площади сельскохозяйственных культур.

Урожайность сельскохозяйственных культур характеризует уровень интенсивности использования земли. Не всегда большая площадь посева — показатель большого валового сбора. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур остается главным путем увеличения производства продуктов растениеводства в изучаемом регионе.

Уровень урожайности зависит от многих условий: климатических, географических, почвенных, микробиологических, биологических, организационно-экономических и др. Но основным фактором повышения урожайности является уровень культуры земледелия, который включает комплекс агрономических и технических мероприятий направленных на повышение плодородия почвы. Валовой сбор сельскохозяйственных культур в СКО в динамике лет показан в таблице 3 и на рисунке 3.

Т а б л и ц а 3

Валовой сбор сельскохозяйственных культур в СКО в динамике лет (тыс. т) ****

№ п/п	Культура	Годы					
		2013	2014	2015	2016	2017	2019
1	Зерновые и зернобобовые	4973,4	5111,1	5547,0	5542,0	5417,3	4500,0
2	Масличные	391,3	434,8	400,8	485,4	696,0	786,0
3	Картофель	500,9	517,2	533,2	523,0	502,6	491,0
4	Овощи	189,4	191,9	197,6	203,1	179,1	98,0

**** *Примечание.* Составлено автором по данным [4].

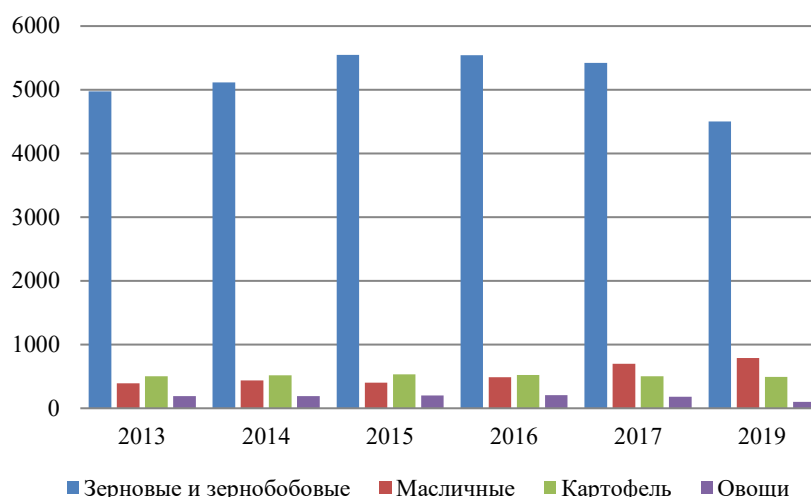


Рисунок 3. Валовой сбор сельскохозяйственных культур в СКО (тыс. т)

Проанализировав данные таблицы 3, можно сделать вывод, что валовой сбор зерновых культур держится на уровне 4500–5500 тыс. т. Сравнивая последний год с 2013 г., валовой сбор зерна стал ниже на 9,5 %. Несмотря на диверсификацию растениеводства, сильное сокращение площадей зерно-

вых культур не наблюдается. Это связано с реализацией новых программ в отрасли животноводства. Программы предусматривают приобретение поголовья скота и увеличение его численности, а это, в свою очередь, увеличивает потребность в зерновых и зернобобовых культурах.

Увеличение в течение рассматриваемого периода валового сбора технических масличных культур является результатом государственной политики по диверсификации посевных площадей Северо-Казахстанской области. Валовой сбор масличных культур увеличился в 2 раза и составил 786 тыс. тонн.

Валовой сбор овощей и картофеля в регионе за рассматриваемый период снизился. В частности, сбор картофеля сократился на 9,9 тыс. т, овощей — на 91,4 тыс. т. Картофель и овощи — культуры, которые выращивают по программе развития огородничества, в настоящее время с целью эффективной занятости населения, товаропроизводители выделяют земли под овощи и картофель, не сокращая их площади. Тем не менее, всем известно, что на сельское хозяйство, в том числе растениеводство сильно влияют природно-климатические условия. Не стоит забывать и о социально-экономических факторах, которые также присутствуют и оказывают влияние на развитие отрасли.

В проведенном исследовании был рассмотрен один из важных показателей развития растениеводства — урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 4, рис. 4).

Т а б л и ц а 4

Урожайность сельскохозяйственных культур по СКО за 2013–2017 гг. (ц/га)

№ п/п	Культура	Годы					
		2013	2014	2015	2016	2017	2019
1	Зерновые и зернобобовые	14,0	16,4	17,3	17,2	16,3	17,0
2	Масличные	9,2	9,7	8,8	9,7	9,8	10,0
3	Картофель	183,2	191,2	191,0	189,7	183,1	184,0
4	Овощи	371,2	374,4	380,4	386,4	360,6	362,0

**Примечание.* Составлено автором по данным [4].

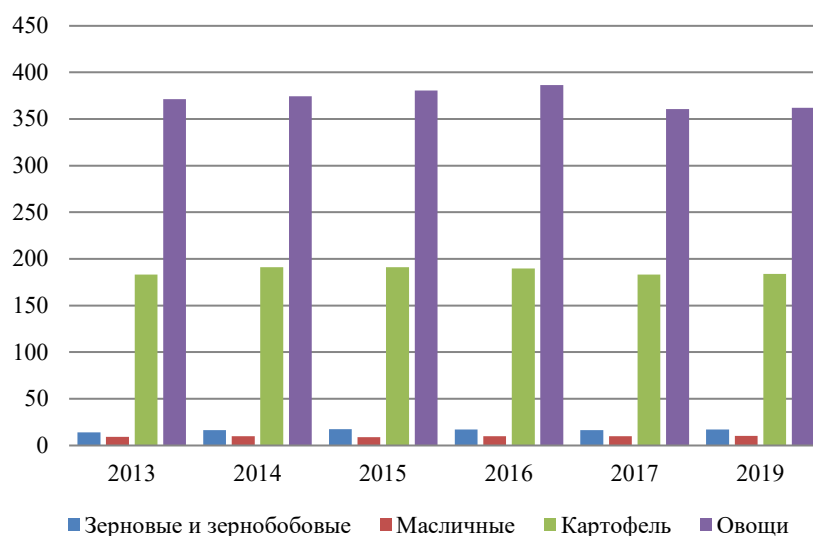


Рисунок 4. Урожайность сельскохозяйственных культур в СКО (ц/га)

В 2013 г. урожайность зерновых и зернобобовых культур составила по области 14,0 ц/га. В 2019 г. урожайность повысилась на 3 ц/га, что на 21,4 % выше первоначального уровня. Урожайность зерновых культур повышается с активным применением новых технологий. Использование высокопроизводительной техники значительно сокращает потерю выращенного урожая. Учитывая, что Северный Казахстан является зоной рискованного земледелия, урожайность и валовой сбор зерна напрямую зависят от природно-климатических условий. Так, например, в 2017 г. урожайность зерновых культур составляла 16,3 ц/га, что на 0,9 меньше показателей 2016 г. В 2017 г. в отдельных районах выпадение осадков в 2–3 раза превысило месячные нормы. В результате, из-за чрезмерных осадков, произошли полегание пшеницы, потеря качества зерна и снижение общего сбора культуры.

Возделывание и уборка масличных культур требуют больших затрат, необходимо вовремя в период созревания семян убрать урожай. Средний ежегодный показатель урожайности масличных составляет 9,5 ц/га. Внедрение сельскохозяйственными товаропроизводителями новых агрономических технологий и применение новых сортов обеспечивают стабилизацию уровня урожайности, его качества, повышают рентабельность. В настоящее время цена на масличные культуры самая высокая в регионе.

Средний показатель урожайности овощей и картофеля ежегодно держится в пределах 187 и 373 ц/га соответственно. Применение современной техники и привлечение сезонных работников на овощеводстве позволяют обеспечить создание рабочих мест и сбор урожая в кратчайшие сроки с минимальными потерями.

В 2019 г. для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв внесено 57,5 тыс. т минеральных удобрений, что на 30,7 тыс. т больше периода 2013 г. Это позволило увеличить урожайность зерновых на полях, где внедряются системы точного земледелия и используется метод дифференцированного внесения удобрений.

Хранение сельскохозяйственной продукции — это система мероприятий, направленных на предотвращение снижения ее качества, потерь в весе и ухудшения физических и химических свойств. Преимуществами хранения сельскохозяйственной продукции в местах ее производства являются: сокращение потерь сельскохозяйственной продукции; повышение занятости рабочих сельскохозяйственных предприятий во внесезонный период; снижение потребности в транспортных средствах в период уборки и вывоза урожая; реализация продукции в зимне-весенний период. Хорошо налаженная система хранения обеспечивает равномерное потребление в течение года разнообразных видов продукции и позволяет максимально сбалансировать рацион питания человека. В целях обеспечения сохранности выращенного урожая на территории Северо-Казахстанской области имеются зернохранилища с общим объемом 6,6 млн т. В том числе на 49 лицензированных хлебоприемных предприятиях — 3,4 млн т, в самостоятельных аграрных формированиях — 3,2 млн т. Приемку и хранение масличных культур в регионе осуществляют 23 элеватора.

Материальная база хлебоприемных пунктов постоянно обновляется, лаборатории оснащены современными аналитическими приборами. Кроме того, в области имеется 312 единиц зерносушилок, из них на хлебоприемных предприятиях — 152 единицы. У сельскохозяйственных товаропроизводителей — 160 единиц [10].

Необходимо отметить, что с 2012 г. в области ведется постоянная работа по строительству новых и модернизации имеющихся элеваторов и зернохранилищ. Упор делается на увеличение емкостей в самостоятельных аграрных формированиях. Это можно рассматривать, как наименее затратный метод снижения дефицита хранилищ. За рассматриваемый период в регионе построено 17 элеваторов и зернохранилищ на 441,4 тыс. т. В каждом районе Северо-Казахстанской области имеются предприятия, оказывающие услуги по хранению сельскохозяйственной продукции. Линейные элеваторы расположены в районе им. Г. Мусрепова (Новоишимский элеватор), в Тимирязевском районе (Тимирязевский элеватор), в Жамбылском районе (Кайранкольский элеватор) и в районе им. М.Жумабаева (Булаевский элеватор).

Для развития АПК регионов в данный сектор экономики ежегодно вливаются инвестиции в основной капитал. В настоящее время абсолютным лидером по объему сельскохозяйственных инвестиций является Северо-Казахстанская область — 26 % от всего объема инвестиций (рис. 5) [11]. Государством принимается множество государственных и узкоотраслевых планов по обеспечению, поддержке и развитию сельского хозяйства. Действующие программы получили значительное финансирование. Государство стремится обеспечить максимальную поддержку данной отрасли.

По итогам 2020 г. главная житница страны СКО по объему валовой продукции сельского хозяйства, включая растениеводство, заняла 2-е место, а по объему инвестиций — 1-е место в республике. В области действуют более 1346 сельскохозяйственных предприятий, что составляет 8 % от их общего количества. На СКО приходится четверть всего валового сбора зерновых и зернобобовых и около 33 % масличных. Регион полностью обеспечивает себя зерном. Импорт в сфере зерновых культур составляет менее 0,2 %. Ежегодно происходит наращивание экспорта — поставок сельскохозяйственных культур на внешние рынки.

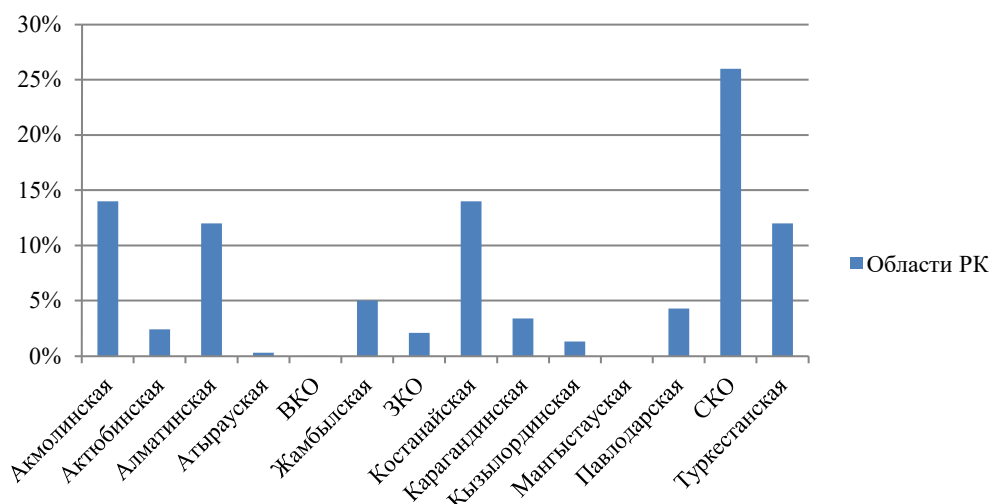


Рисунок 5. Доля сельскохозяйственных инвестиций в основной капитал в разрезе областей Казахстана, на начало 2018 г. (млн тг) [11]

Заключение

Таким образом, Северо-Казахстанская область отличается развитым АПК с преобладанием растениеводства. В рейтинге регионов Республики Казахстан по основным сельскохозяйственным показателям область занимает передовые позиции. Урожай сельскохозяйственных культур позволяют региону покрывать внутренние потребности населения в продовольствии и сохранять экспортный потенциал.

Для сохранения стабильности и развития растениеводческого производства Северо-Казахстанской области как основы сельскохозяйственного кластера и обеспечения продовольственной безопасности населения необходимо:

- ежегодно работать над повышением основных показателей в отрасли;
- повышать производительность труда;
- решать проблему с нехваткой кадров, путем сотрудничества с вузами страны;
- добиваться того, чтобы сельский труд был экономически выгодным;
- проводить диверсификацию посевных площадей, главным образом под масличные культуры;
- внедрять современные агротехники и агротехнологии;
- продолжать внедрение элементов цифровизации в сельском хозяйстве;
- поддерживать и внедрять лучшие стартапы, ориентированные на развитие отрасли.

Список литературы

- 1 Султанбекова Г. Продовольственная безопасность Казахстана: современное состояние и направления обеспечения / Г. Султангазина // Экономика и статистика. — 2001. — № 1. — С. 42.
- 2 Жанбекова З.Х. Внутренние и внешние угрозы продовольственной безопасности Казахстана / З.Х. Жанбекова // Вестн. Казах.нац. ун-та. Сер. экон. — 2003. — № 3. — С. 23–27.
- 3 Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mgov.kz/>
- 4 Валовой сбор сельскохозяйственных культур по Северо-Казахстанской области. (Статистическая форма 29–СХ) за 2013–2017 гг.
- 5 Основные показатели развития животноводства Северо-Казахстанской области. (Статистическая форма 24–СХ) за 2013–2017 гг.
- 6 Министерство национальной экономики Республики Казахстан. Комитет по статистике. Экспресс-информация № 36–5/29 14.01.2020 г. Валовой выпуск продукции (услуг) сельского, лесного и рыбного хозяйства в Республике Казахстан в январе–декабре 2019 г. (11.06.2021). — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://stat.gov.kz/>
- 7 Структура посевных площадей в Северо-Казахстанской области (02.08.2019). — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kazakh-zerno.net/>

8 Материалы XV Междунар. науч. конф. «Аграрная наука — сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии». — Петропавловск, 2012. — Т. 1. — С. 32, 33.

9 Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017–2021 годы. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: primeminister.kz/ru/gosprogrammy/gosudarstvennayaaprogrammarazvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-respubliki-kazahstan-na-2017-2021-gody-9113518/

10 Атамекен Агро. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://atameken-agro.com/>

11 RANKING.KZ. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ranking.kz/infopovody/severo-kazahstanskaya-oblast/>

Г.Н. Чистякова, Г.М. Салыкбаева, С.М. Досмахов,
Л.Т. Кожакметова, А.О. Кулмаганбетова

Солтүстік Қазақстан облысының өсімдік шаруашылығы ауыл шаруашылығы кластерінің және халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізі ретінде

Мақалада өңірдің ауыл шаруашылығы кластерінің негізгі басты саласы және халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің өзегі болып табылатын Солтүстік Қазақстан облысының өсімдік шаруашылығын дамыту мен орналастырудың ерекшеліктері қарастырылған. Жұмыстың мақсаты — саланың қазіргі жағдайы мен даму тенденцияларын анықтау. Зерттеудің экономикалық-географиялық әдісін қолдана отырып, авторлар жеке аймақтың да, тұтастай елді, яғни халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін екі негізгі мәселені шешу арқылы мүмкін болады деген қорытындыға келген. Бұл дамудың инновациялық жолына көшу және өнімнің импортын алмастыруды жеделдету. Осының барлығы АӨК алдына ауыл шаруашылығындағы, оның ішінде өсімдік шаруашылығындағы өндірістің тиімділігін арттырудың маңызды стратегиялық міндетін қояды. Солтүстік Қазақстан облысы Қазақстан Республикасының ауыл шаруашылығы өндірісінің құрылымында жетекші өңірлердің бірі бола отырып, қойылған міндеттерді зерделеу үшін ғылыми тұрғыдан неғұрлым қызықты болып табылады.

Кілт сөздер: Солтүстік Қазақстан облысы, ауыл шаруашылығы кластері, кластерлік саясат, аграрлық сектор, кооперация, өсімдік шаруашылығы, жер қоры, жалпы өнім, егіс алаңының құрылымы, жалпы жиын-терім, дақылдардың өнімділігі, агротехнология, ауыл шаруашылығының инвестициялары.

G.N. Chistyakova, G.M. Salykbayeva, S.M. Dosmakhov,
L.T. Kozhakmetova, A.O. Kulmaganbetova

Crop production of the North Kazakhstan region as the basis of the agricultural cluster and ensuring food security of the population

The scientific article discusses the features of the development and location of crop production in the North Kazakhstan region, which is the main key branch of the agricultural cluster of the region and the basis for ensuring food security of the population. The purpose of the work is to identify the current state and trends in the development of the industry. Applying the economic and geographical method of research, the authors of the article conclude that ensuring food security both for the population of a particular region and for the country as a whole is possible by solving two main problems. This is a transition to an innovative way of development and acceleration of import products substitution. All this poses an important strategic task for the agro-industrial complex to increase the efficiency of production in agriculture, including crop production. The North Kazakhstan region, being one of the leading regions in the structure of agricultural production of the Republic of Kazakhstan, is the most interesting from a scientific point of view for studying the tasks set.

Keywords: North Kazakhstan region, agricultural cluster, cluster policy, agricultural sector, cooperation, crop production, land fund, gross output, structure of sown area, gross harvest, crop yield, agricultural technology, agricultural investments.

References

1 Sultanbekova, G. (2001). Prodovolstvennaia bezopasnost Kazakhstana: sovremennoe sostoianie i napravleniia obespecheniia [Food security of Kazakhstan: the current state and areas of support]. *Ekonomika i statistika — Economics and statistics, 1*; 42 [in Russian].

- 2 Zhanbekova, Z.Kh. (2003). Vnutrennie i vneshnie ugrozy prodovolstvennoi bezopasnosti Kazakhstana [Internal and external threats to food security of Kazakhstan]. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo universiteta. Seriya ekonomicheskaya — Bulletin of Kazakh National University, Economy series*, 3; 23–27 [in Russian].
- 3 *Ministerstvo selskogo khoziaistva Respubliki Kazakhstan [Ministry of agriculture of Republic of Kazakhstan]*. Retrieved from <http://mgov.kz/> [in Russian].
- 4 *Valovoi sbor sel'skokhoziaistvennykh kultur po Severo-Kazakhstanskoi oblasti (Statisticheskaya forma 29-SKh) za 2013–2017 gody [Gross harvest of crops in the North Kazakhstan region (Statistical form of 29-SKh) for 2013, 2014, 2015, 2016, 2017]* [in Russian].
- 5 *Osnovnye pokazateli razvitiia zhivotnovodstva Severo-Kazakhstanskoi oblasti. (Statisticheskaya forma 24-SKh) za 2013–2017 gody [The main indicators of livestock development in the North Kazakhstan region. (Statistical form 24-SKh) for 2013, 2014, 2015, 2016, 2017]* [in Russian].
- 6 (2021). *Ministerstvo natsionalnoi ekonomiki Respubliki Kazakhstan. Komitet po statistike. Ekspres-informatsiia № 36–5/29 14.01.2020 g. Valovyi vypusk produktsii (uslug) selskogo, lesnogo i rybnogo khoziaistva v Respublike Kazakhstan v yanvare–dekabre 2019 goda (11.06.2021) [Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. Committee on Statistics. Express information № 36–5/29 14.01.2020. Gross output of agricultural, forestry and fisheries products (services) in the Republic of Kazakhstan in January–December 2019 (11.06.2021)]*. Retrieved from <http://stat.gov.kz/> [in Russian].
- 7 *Struktura posevnykh ploshchadei v Severo-Kazakhstanskoi oblasti (02.08.2019) [Structure of sown areas in the North Kazakhstan region (02.08.2019)]*. Retrieved from <https://kazakh-zerno.net/> [in Russian].
- 8 (2012). *Proceedings from Agrarian Science to Agricultural Production in Siberia, Mongolia, Kazakhstan and Bulgaria '12: XV Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia — 15th International Scientific Conference* (pp. 32–33). Petropavlovsk, Vol. 1 [in Russian].
- 9 *Gosudarstvennaia programma razvitiia agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan na 2017–2021 gody [State program for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021]*. Retrieved from <http://primeminister.kz/ru/gosprogrammy/gosudarstvennayaprogrammarazvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-respubliki-kazakhstan-na-2017–2021-gody-9113518/> [in Russian].
- 10 *Atameken Agro*. Retrieved from <http://atameken-agro.com/> [in Russian].
- 11 *RANKING.KZ*. Retrieved from <http://ranking.kz/infopovody/severo-kazahstanskaya-oblast/> [in Russian].

V.S. Dekhnich¹, N.M. Dronin^{2*}¹*Kazakhstan Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University, Nur-Sultan, Kazakhstan;*²*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia***Corresponding author: andronin@gmail.com*

Factors of city private transport decarbonization

The article is devoted to assessing the contribution of greenhouse gas emissions from the transport sector of large cities and regional centers of the Republic of Kazakhstan. During the investigations we have calculated emissions from private automobiles in seventeen cities of Kazakhstan; declared the features of spatial differentiation of emissions by city districts; identified main factors of carbon intensity of motor transport in cities; determined quantitative indicators describing the significance of these factors, and provided an assessment of the significance of the considered factors. On the example of five representative cities (Nur-Sultan, Almaty, Shymkent, Ust-Kamenogorsk, Karaganda), the main spatial and geographical reasons for the decrease in the connectivity of the road network and the basic principles for reducing carbon intensity are identified. The studies are based on the data of the Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan, including statistical forms of the fuel and energy balance of the regions; demographic yearbooks; statistical collections containing information on the operation of transport; on the data of the open geoportals “Yandex Probki” and “Open Street Map”; on the results of GIS-calculations and on the methodological documents approved by IPCC.

Keywords: climate policy, city transportation systems, cities of Kazakhstan, greenhouse gases reduction.

Introduction

In the context of global climate change, the priority goal of sustainable development strategies for urban areas should be connected with reduction of carbon intensity, since cities occupy less than 1 % of the area, but more than 50 % of the world's population is concentrated on them [1]. At the same time, cities consume about 80 % of all produced energy in the world and emit about 75 % of greenhouse gases (GHG). Within the framework of international agreements in the field of climate change, most states, including the Republic of Kazakhstan (RK), have obligations to reduce GHG emissions. Kazakhstan is committed to reducing GHG emissions by 15 % (non-target) or 25 % (conditional target) by 2030 [2].

Actions aimed at reducing GHG emissions are called climate policy. In Kazakhstan, the goals and measures to reduce GHG emissions are fixed in such strategic planning documents as [3, 4], master plans of cities. Climate policy is often limited to measures to reduce GHG emissions from large power generating plants (CHP, GRES) and industrial facilities. Such objects are much easier to control, and to calculate with a high degree of certainty the potential effectiveness of climate policy measures.

However, measures to reduce GHG emissions through fuel and energy savings by end consumers can have an equally tangible effect. For example, in the regional centers of Kazakhstan, the share of GHG emissions associated with the operation of the public utilities (heating and power supply of residential buildings) and transport sectors varies from 30 % to 90 % of all urban emissions.

Measures to reduce the carbon intensity of the public utilities and transport sectors are being implemented as part of the climate strategies of many cities in Europe and the United States. For example, the London Development Plan [5] aims to reduce the city's GHG emissions through the implementation of measures in the utilities and transport sectors by 50–60 %, and the Chicago Climate Action Plan [6] — by 30–40 %.

In Kazakhstan, as also in most post-Soviet states, measures to reduce the contribution of end-users to the formation of GHG emissions are used rarely, mainly due to the low certainty of their effectiveness estimates. Factors that increase the uncertainty of such estimates include the following circumstances:

1. A large number of scattered sources makes it difficult to inventory the characteristics of each of them and requires the use of methodological approaches that allow in a generalized form.
2. Often, city governments do not have access to detailed information needed to be used as input data when calculating GHG emissions.

3. The effectiveness of measures to reduce GHG emissions in the municipal and transport sectors of cities significantly depends on natural and geographical factors. Therefore, there are no “universal recipes” for applying measures. Often, a set of measures that is effective in one city may be completely inapplicable in another.

4. The effectiveness of measures to reduce GHG emissions in the utilities and transport sectors largely depends on the willingness of the population to participate in the implementation of such measures.

In this article, we propose a set of methods that allow us to assess the potential contribution of the decarbonization of urban transport systems to the fulfillment of the national obligations of the Republic. The specified set of methods allows:

1. To carry out an inventory of GHG emissions with a high degree of certainty of results in the absence of initial data;
2. To assess the contribution of the transport sector to the GHG emissions of individual cities;
3. To identify and evaluate the significance of spatial and geographical factors of carbon intensity;
4. To provide recommendations on specific climate policy measures or the cities in different geographic conditions.

Experimental

Initial data used in the investigations

To calculate the total GHG emissions from the use of road transport in cities, statistical data of the Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan on the fuel and energy balance, demographic characteristics, features of road transport were used.

The assessment of the spatial distribution of GHG emissions from the transport sector was based on the data of the Yandex-traffic geoportal on the average speed of road traffic in the context of segments of the road network; database of average fuel consumption by cars depending on the speed of traffic, published in open Internet sources.

Research stages. The study described in this article consists of the following steps:

1. Estimation of GHG emissions from private road transport of regional centers and large cities of Kazakhstan.
2. Inventory of nonpoint sources of GHG emissions from vehicles and assessment of their spatial differentiation.
3. Assessment of the significance of spatial and geographical factors of carbon intensity of motor transport in cities of Kazakhstan.
4. Providing the recommendations on climate policy in transport sector of large cities.

Estimation of GHG emissions from private road transport of regional centers and large cities of Kazakhstan

The calculation of private vehicles GHG emissions in regional centers and large cities of Kazakhstan is based on the use of data published in the statistical form "Fuel and Energy Balance" of cities and regions of Kazakhstan. This form contains information on the amount of gasoline, diesel fuel, and gas supplied to consumers. Data on fuel consumption by cities are not provided for some regions, and only aggregated data for the region are published. In such cases, the hypothesis was accepted that the volume of fuel consumption in a settlement is directly proportional to the number of vehicles registered in it.

The calculation of total GHG emissions (carbon dioxide, methane, nitrous oxide) from the use of road transport was carried out according to the Guidelines for the calculation of greenhouse gas emissions from motor transport enterprises [7].

Inventory of nonpoint sources of GHG emissions from vehicles and assessment of their spatial differentiation

Studies describing the distribution of greenhouse gas emissions in certain parts of cities are the most valuable for planning actions to reduce GHG emissions, but they are labor-intensive to develop. A specific feature of GHG emissions from the transport sector is the predominance of nonpoint sources. Nonpoint sources include emissions of pollutants from individual and medium-scale formations, which, for practical reasons, cannot be considered as point sources of pollution in the inventory [8]. Many researchers [9–11] group diffuse sources based on their similarity and proximity to identify areas of activity that lead to the highest GHG emissions, as well as to identify areas where the implementation of climate change mitigation measures will be most effective. In the course of studying the spatial differentiation of emissions, nonpoint sources located within the same planning sector are combined [12]. As an alternative to using planning sec-

tors in a city study, it is possible to calculate GHG emissions on a city block basis, use urban morphotypes as map units [13], or carry out calculations within the cells of a regular grid [14].

Based on the analysis of the experience of studying the spatial distribution of GHG emissions in cities, the most accurate studies should be considered based on the use of actual data on energy and fuel consumption. However, often (especially in small towns) the data needed to conduct such a detailed study are not available. Studies show [15] that comparable accuracy of results can be achieved using the downscaling method.

The proposed downscaling algorithm is based on the use of the estimated GHG emissions of the city as a whole to predict the emissions of planning sectors. When using this approach, the total amount of city emissions is distributed among planning sectors in proportion to the values of factors that increase energy or fuel consumption.

Required initial data:

1. The amount of consumed fuel (gasoline, diesel fuel, gas used to fuel vehicles). Data is published in the statistical collections "Fuel and Energy Balance" [Fuel... 2019].

2. Information on the length of the road network in the context of planning sectors — obtained from the data of the geoportal "Open Street Map" and used as a factor that determines the amount of GHG emissions from the transport sector in the context of planning sectors.

Calculation process:

The distribution of the total GHG emissions of cities by planning sectors, calculated according to the fuel and energy balance data, is carried out in proportion to the total mileage of cars within the planning sector (Formula 1).

$$M_{plansec.} = \frac{O_k}{O_{tot}} * M_{tot}, \quad (1)$$

where $M_{plan.sec.}$ — greenhouse gas emissions of the planning sector (tons); M_{tot} — total emissions of the city from the combustion of gasoline, diesel fuel and natural gas fuel when using transport (tons); O_k — total mileage of vehicles at the streets of the k -th planning sector (km); O_{tot} — citywide mileage of vehicles (km).

The mileage of vehicles at the streets of the planning sector is determined as the sum of the products of the length of each segment of the street within the planning sector and the traffic intensity of this street (Formula 2):

$$O_k = \sum(L * I), \quad (2)$$

where L — the length of the segment of each street within the planning sector (km); I — traffic intensity on the street (vehicles per hour).

Using the described approach, an assessment was made of the spatial differentiation of emissions from regional centers and large cities of Kazakhstan.

Assessment of the significance of spatial and geographical factors of carbon intensity of motor transport in cities of Kazakhstan.

The main road transport the carbon intensity factors in large cities includes the structure of the vehicle fleet in terms of engine size; climatic features; connectivity of the road network. Table 1 describes the quantitative indicators used in assessing the significance of these spatial and geographical factors, and initial data.

Table 1

Main spatial and geographical factors of private road transport carbon intensity in large cities

Spatial and geographical factor of carbon intensity of private road transport in cities	Quantitative value used in impact assessment	The nature of impact	Data sources
1	2	3	4
Vehicle fleet structure by engine volume	Percentage of vehicles with engine capacity over 3000 cm ³ (3 liters)	Cars with oversized engines consume more fuel and therefore emit more GHG.	Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan; portal «kolesa.kz»
Climatic features	Time required to warm up the engine in the cold season of the year (hour)	The share of fuel consumption and, consequently, GHG emissions associated with engine warm-up during the cold season can be up to 10 %.	Research [16]

Continuation of Table 1

1	2	3	4
Connectivity of the road network	Non-connectivity index	In the conditions of a disconnected street and road network, the average annual mileage of a car increases significantly.	Own calculations on street-road graphs OSM.

Methods for calculating the share of vehicles with an engine volume of more than 3000 cm³. Information on the structure of the vehicle fleet in terms of engine size is published in the collections of the Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan only in a generalized form for the whole country. As an auxiliary source of information about the structure of the car fleet, the portal for car sales announcements "Kolesa.kz" was used. The study assumed that the ratio of cars of various categories on sale in a particular city corresponds to the ratio of all registered cars of these categories in the city under consideration. The validity of this assumption is confirmed by a high correlation coefficient (more than 0,7 [17]) between the structure of ads for sale and the structure of the vehicle fleet of the Republic of Kazakhstan as a whole.

Methods for assessing the influence of climatic conditions on the warm-up time of a car engine. Information about the average warm-up time of a car engine was obtained from research [17].

Methods for assessing the influence of road network parameters on carbon intensity. A characteristic that allows one to quantify the impact of the road network on the amount of GHG emissions from road transport can be considered the alpha index of road network connectivity. This index is the ratio of the number of contours observed on the graph of the considered road network to the maximum possible number of contours of the network with the number of nodes (crossings) equal to the considered road network. The alpha connectivity index is calculated by Formula 3:

$$\alpha = \frac{K}{K_{max}}, \quad (3)$$

where K — the number of contours in the considered network; K_{max} — the maximum possible number of contours in the network;

In turn, K and K_{max} are calculated by Formulas 4, 5:

$$K = L - (V - 1); \quad (4)$$

$$K_{max} = 3(V - 2) - (V - 1) = 2V - 5, \quad (5)$$

where L — the number of connections at the road network; V — number of nodes at the road network.

Alpha connectivity index can take values from zero (for a completely disconnected network) to one (for a network with the maximum possible number of nodes). To illustrate the relationship between the connectivity of the road network and the amount of GHG emissions, the alpha connectivity index was converted to its inverse "Non-connectivity index" according to the formula:

$$i = 1 - \alpha, \quad (6)$$

where i — non-connectivity index.

Assessment of the significance of spatial and geographical factors of carbon intensity of motor transport in cities of Kazakhstan. As an indicator of the significance of the spatial and geographical factors of carbon intensity, the change in the volume of GHG emissions was used when the cities were brought to the similar best conditions in terms considered geographical factor with fixing the remaining parameters. Thus, to assess the significance of the structure of the vehicle fleet, a hypothetical situation was modeled, when in each city the share of high-volume engines becomes minimal, but climatic conditions and the connectivity of the road network are unchanged. To assess the significance of climatic conditions, a situation is modeled when in each city the time of the cold season and the warm-up time of the engine are minimal, while other spatial and geographical factors remain unchanged. In the course of assessing the significance of the connectivity of the road network, it is assumed that the average annual mileage of a car in each city corresponds to the conditions of the highest connectivity of the road network among the considered cities.

Results and Discussion

Figure 1 demonstrates the estimates of GHG emissions from large cities and regional centers. The maximum amount of emissions corresponds to the city of Almaty (1.9 million tons), where the maximum number of cars is registered.

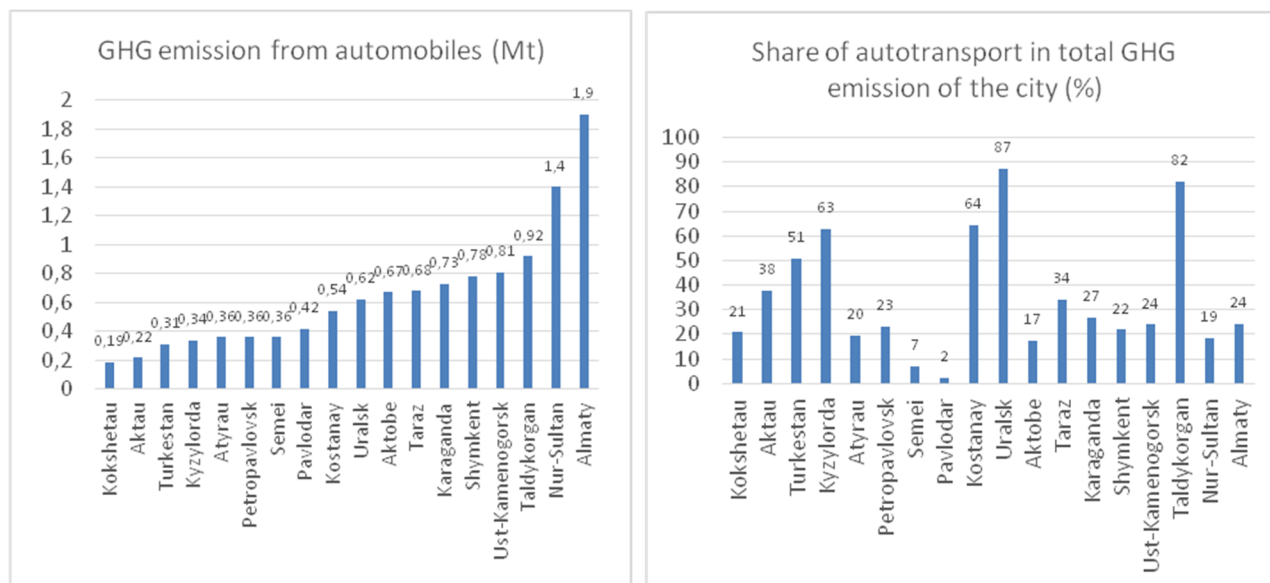


Figure 1. Private road vehicles GHG emissions at the cities of Kazakhstan

The minimum volume of GHG emissions from vehicles is observed in Kokshetau (0.19 million tons). Low GHG emissions are typical for most cities in the South and South-West of Kazakhstan. Among the cities of the North of Kazakhstan, low emissions are typical for Petropavlovsk, and among the cities of the North-East of Kazakhstan — for Semei. Average emissions are typical for most cities in the Center, North and North-East of Kazakhstan. High emissions are observed in Karaganda, Shymkent, Taldykorgan, Nur-Sultan. It should be noted that there is no unambiguous relationship between the number of cars and the volume of emissions. In different cities, the specific volume of emissions (tons per car per year) varies due to the influence of spatial and geographical factors, which will be described below.

Transport is the main source of GHG emissions in such cities as Turkestan, Kyzylorda, Kostanay, Uralsk, Taldykorgan. A common feature of these cities is the complete gasification of energy-producing installations, as well as a relatively small share of industrial emissions. In coal towns, the share of transport in total GHG emissions varies from 2 to 24 %. The minimum share of GHG emissions from motor transport is in Pavlodar, where significant industrial facilities, as well as facilities serving the public sector, use coal from the Ekibastuz basin as fuel, which is characterized by large specific emissions per kWh of generated energy.

In the course of the study, an assessment was made of the spatial differentiation of GHG emissions from vehicles for large cities and regional centers of the Republic of Kazakhstan. In this article, representative cities located in various regions of Kazakhstan are considered in detail.

As representative examples of the cities of Central, Northern and North-Eastern Kazakhstan, the cities of Nur-Sultan, Karaganda, and Ust-Kamenogorsk were selected; the city of Almaty was chosen as a representative example of cities in South-East Kazakhstan; among the cities of South Kazakhstan, a representative example of the city of Shymkent was considered. Representative Cities of South-Western and North-Western Kazakhstan were not considered, since their spatial and geographical features are in many respects close to the cities of South and North Kazakhstan, respectively.

In the analysis of the spatial distribution of greenhouse gas emissions from road transport, we used the indicator of specific emissions of tons/km of the road segment, since its use allows us to exclude false conclusions that are possible when analyzing the absolute values of emissions in cities where street segments differ significantly in length. The possibility of using a specific indicator for the length of the road, as well as emission density (for the area of the territory affected), was noted in [18, 19].

In Nur-Sultan (Fig. 2), which is compact, the structure of the road network is close to regular. In the city of Nur-Sultan, the maximum values of GHG emissions are typical for city streets, namely Nurgisa Tlendiev Avenue, turning into Bogenbai Avenue and Alash Highway (1653 kg/km); Korgalzhyn Highway (1588 kg/km); most streets of interdistrict significance, namely Republic Avenue (1740 kg / km), A. Imanov Street (2597 kg/km), Abay Avenue (1451 kg/km), S. Seifullin Street (2257 kg/km), Sh. Valikhanov (2226 kg/km) and some streets of the Yesil district, namely D. Kunaev streets (1887 kg/km) and Sarayshyk streets (1472 kg/km) and some other streets that fit the criteria described above. Average values of GHG emissions (700–

1200 t/km) are typical for the majority of intra-district streets connecting opposite district boundaries. These streets are characterized by the presence of 2 to 6 traffic lanes and an average concentration. The minimum values of GHG emissions (less than 700 t/km) are typical for areas of private development and secondary streets of intra-district significance.

Despite the rather high connectivity of the road network within the administrative center of the right bank of the city, high specific values of GHG emissions are observed in this area. This indicates that the city center has exhausted the possibilities for upgrading the road network, and measures to reduce GHG emissions should be based on encouraging the use of alternatives to a private car.

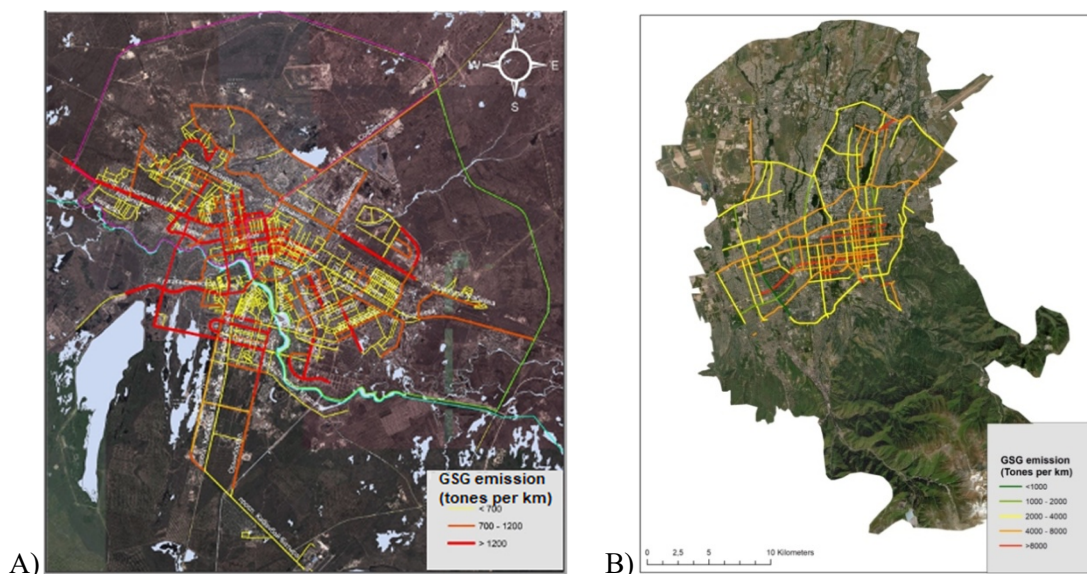
In general, the crossing points across the Ishim (Yesil) River correspond to low and medium a GHG emission, which indicates the optimal location of bridges and interchanges at the approach to the river. The exception is bridges in the area of Sary-Arka and Turan streets, as well as Republic Avenue.

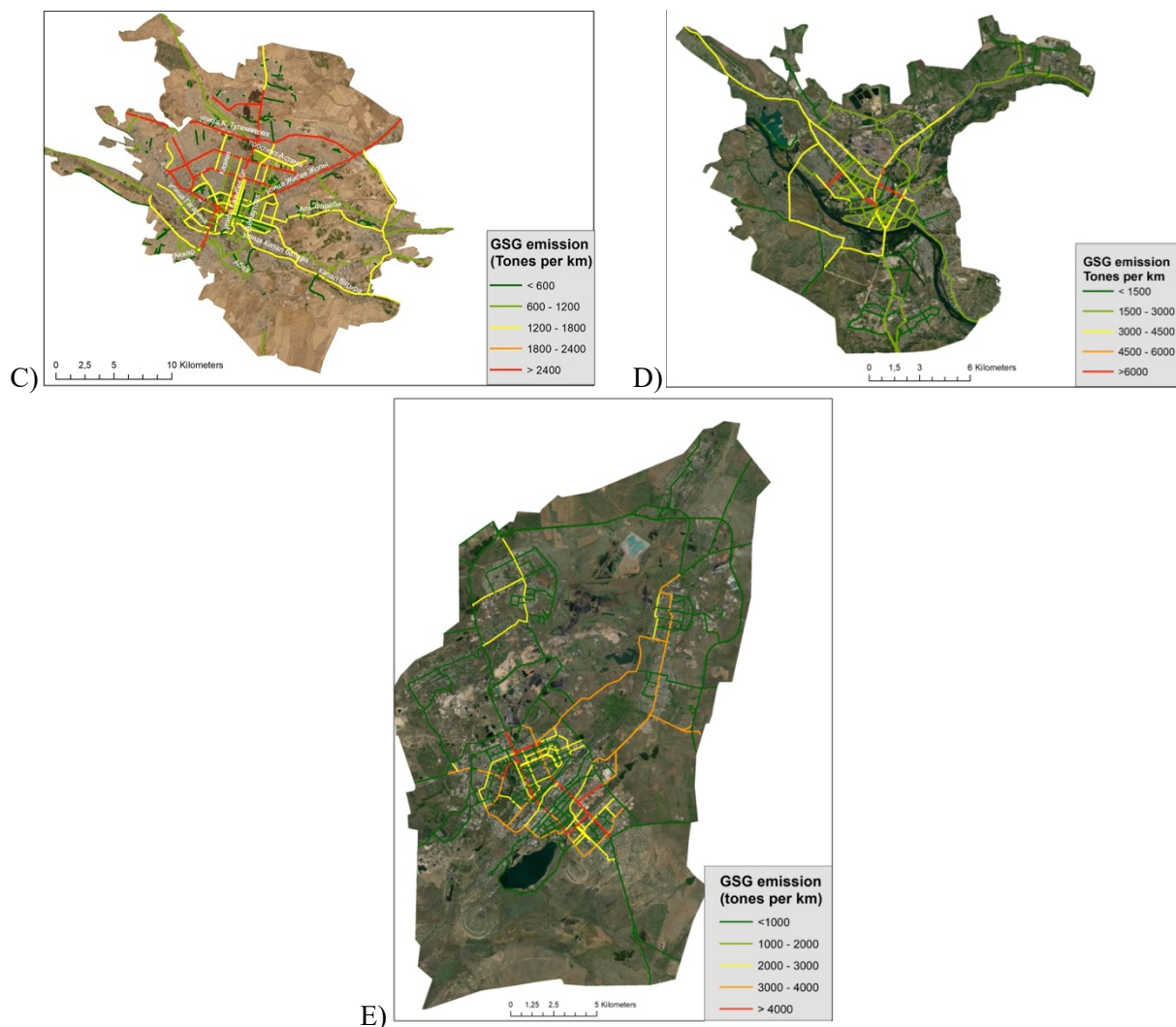
Almaty has a planning structure that combines elements of a regular and radial-circular type. At the same time, the density of streets in the central part of Almaty is much higher than in the central part of Nur-Sultan. Almaty is characterized by the presence of a large number of residential areas on the periphery of the city. Thus, the density of streets in such areas is high.

The main contribution to greenhouse gas emissions from vehicles is made by the area bounded by Timiryazev, Nazarbayev, Raimybek, Rozybakiev streets. As in Nur-Sultan, the potential for increasing the connectivity of the road network in the central part of the city is largely exhausted, and measures to reduce GHG emissions in the area should focus on the development of alternative modes of transport to the private vehicle.

The planning structure of Shymkent is close to triangular, and on the periphery of the city, the density of streets and their connectivity drops significantly due to the presence of large industrial zones and the orientation of peripheral areas along the valleys of watercourses. In the central area with higher connectivity of the road network, specific emissions are relatively low for most streets, except for large streets that provide transit traffic through the city center to its peripheral areas. The greatest contribution to GHG emissions from motor transport is made by avenues of Republic, Qonaev, Baidibek Bi, Tamerlanovskoye Highway, Al-Farabi, Ryskulov, Zhibek Zholy streets.

The planning structure of Karaganda is close to free due to the historical features of the city development. The modern city of Karaganda was formed from several mining settlements located at a certain distance from each other. At the same time, the “Old Town” — the area of the original city center location ceased to exist because of the intensification of the subsidence formation in the area of coal mining. As a result, the city consists of isolated built-up areas with a large proportion of undeveloped areas in its geometric center. The new city center is located in the eastern part of the city, while housing construction is mainly taking place in the southeastern part. In addition, the connectivity of the street and road network of Karaganda city reduces the insufficient number of crossings through the railway separating the eastern and southeastern parts of the city.





A — Nur-Sultan; B — Almaty; C — Shymkent; D — Ust-Kamenogorsk; E — Karaganda

Figure 2. Spatial distribution of GHG emission of representative cities

The maximum amount of GHG emissions is typical for Bukhar-Zhyrau Avenue and Gogol Street, which perform a transit function between the districts of the New City and the South-East. The specific amount of emissions for the streets connecting the New City with other districts of Karaganda is characterized by medium and low values. However, as the length of streets is long, their contribution to the total emissions is significant. It should be noted that there is a lack of crossings across the railway, which separates the areas of the New City and the South-East, in connection with which an increased density of emissions is recorded at existing crossings.

The street and road network of Ust-Kamenogorsk contains elements of a regular and radial scheme. The density of the road network on the periphery of the city is much lower than in its center. The presence of large industrial enterprises in the northern part of the city and has an insufficient number of crossings across the river. The Irtysh makes it difficult to travel by road. Increased specific emissions are typical for the area where Abay, Nazarbayev, and Ulba Bridge streets intersect. In this area, large streets are joined, providing transit between the city's districts, and therefore there is a bottleneck effect.

Significance of spatial and geographical factors of carbon intensity

Vehicle fleet structure in terms of engine volume. The share of vehicles with high engine volume is one of the factors that increases the fuel consumption per vehicle, and hence the carbon intensity of vehicles. On average in Kazakhstan, the share of cars with an engine capacity of more than 3 liters is 17 %. The considered cities differ significantly in this indicator (Fig. 3). The maximum share of cars with an engine capacity of more than 3000 cm³ is observed in the cities of Aktau and Almaty (more than 23 %). The share of such

cars is minimal in Turkestan (less than 8 %). Above average, the share of cars with a high engine capacity is observed in the cities of Aktobe, Taraz, Atyrau, Kyzylorda, Petropavlovsk, Pavlodar, Ust-Kamenogorsk, Karaganda, Taldykorgan, Nur-Sultan.

According to [20], the difference between the average consumption of cars with engines larger than 3 liters and cars with the most popular engine size (1.6 liters) is about 42 %. As a consequence, when the structure of urban transport is reduced to the smallest share of cars with a large engine capacity among the considered ones, the total emissions of the considered cities are reduced by 0.36 million tons, or by 3.1 % of current emissions (Fig. 3).

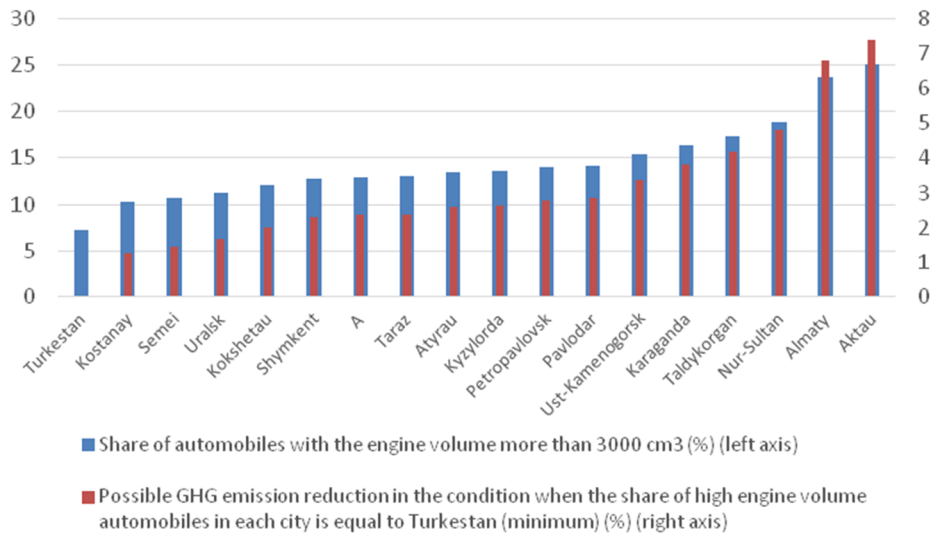


Figure 3. GHG emission reduction in condition of share of automobiles with the engine volume more than 3000 cm³ similar to Turkestan

Climatic features. Climatic features affect the warm-up time of the engine, and, as a result, the amount of emissions from the use of road transport. In the conditions of the considered cities, the warm-up time and the duration of the period during which the warm-up procedure is necessary are differ a lot (Fig. 4).

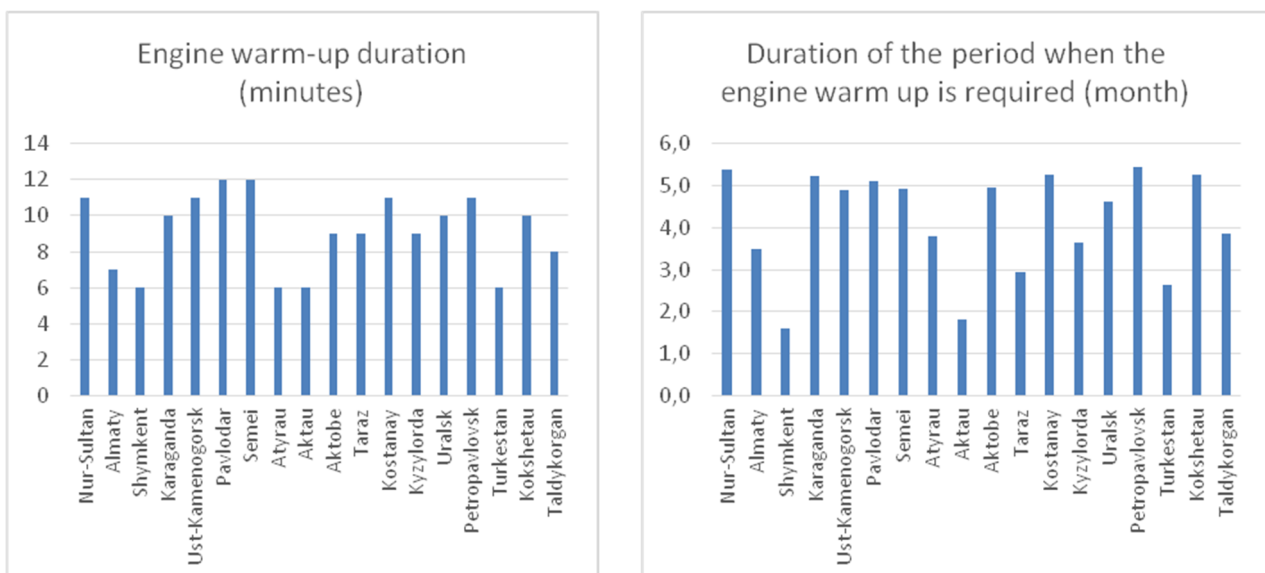


Figure 4. The duration of warming up the engine of a passenger car (according to [16])

Climate features. According to our calculations (Fig. 5), considering that the fuel consumption during engine warm-up is from 0.8 to 1 liter per hour, depending on the type of car in terms of engine size, in the cities of Nur-Sultan, Pavlodar, Semei, the contribution of warming up to the total consumption of automotive

fuel is more than 10 %. In the cities of Karaganda, Ust-Kamenogorsk, Atyrau, the contribution of engine warm-up to the total consumption of motor fuel exceeds the average value for the Republic. The lowest share of automotive fuel consumption associated with warming up the car engine corresponds to the city of Turkestan and is only 1.1 %. Under climatic conditions identical to the city of Turkestan, the reduction of GHG emissions from cities as a result of reduced engine warm-up time is 1.3 %. The most significant reduction occurs in the cities of Atyrau, Pavlodar, Nur-Sultan, Karaganda, Semei.

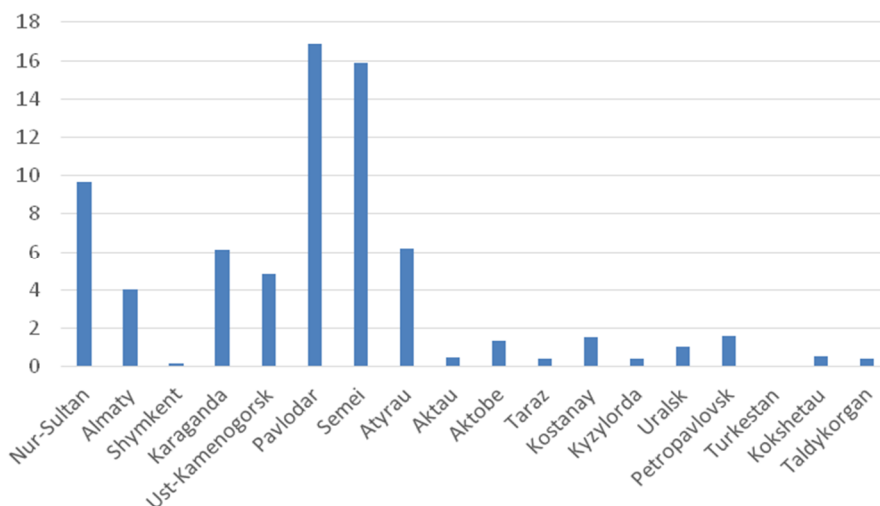


Figure 5. Reduction of GHG emission from private road transport in the climate conditions similar to Turkestan (%)

Connectivity of the road network. Among the considered cities, the non-connectivity index of road network (Fig. 6) varies from 0.005 in Almaty to 0.31 in Turkestan. A high non-connectivity index is typical for the cities of Shymkent, Aktau, Karaganda, and Ust-Kamenogorsk. In these cities, connectivity is reduced either by man-made or natural barriers that prevent the construction of a regular road network. A low non-connectivity index is typical for Nur-Sultan, Pavlodar, Taldykorgan, Kyzylorda. These cities are located in a relatively flat terrain, and their residential areas are located compactly. As a result, the street-road network of the described cities is close to regular.

There is a high (more than 0.7) Pearson correlation coefficient between the disconnection index and GHG emissions per vehicle. The connectivity of the road network should be considered the main factor determining the amount of GHG emissions from private vehicles.

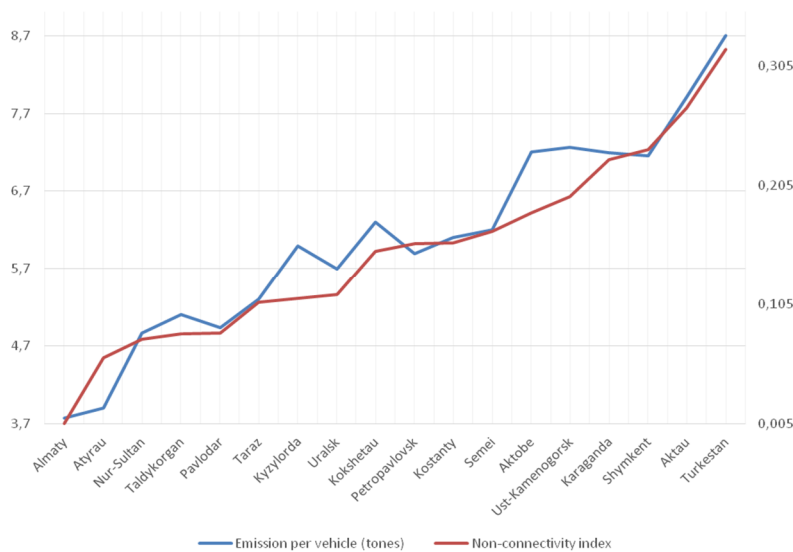


Figure 6. Non-connectivity index

Under the best conditions of connectivity of the road network (identical to Almaty), the total GHG emissions in the considered cities are reduced by 30 % (Fig. 7).

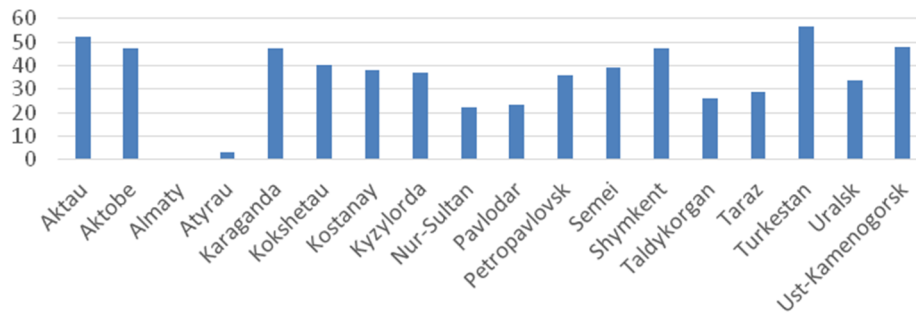


Figure 7. Reduction of GHG emissions in conditions of connectivity of the road network identical to Almaty (%)

Conclusions

Private road transport is a significant source of urban greenhouse gas emissions. City private transportation accounts 18 % of Kazakhstan emissions.

In cities characterized by the predominance of gas in the fuel and energy balance, private vehicles are the dominant source of greenhouse gas emissions. Thus, in Turkestan, Kyzylorda, and Uralsk, the share of GHG emissions from vehicles ranges from 51 to 64 %.

The largest volume of GHG emissions from private road vehicles is typical for Almaty and Nur-Sultan. In general, these cities provide about 30 % of all transport emissions in Kazakhstan. These cities have the maximum number of registered cars in Kazakhstan.

However, there is no direct relationship between the number of cars and GHG emissions. Specific emissions per car vary a lot: from 3.8 tons per car per year in Almaty to 8.7 tons per car per year in Turkestan. Such differences are due to the structure of the vehicle fleet in terms of engine size, the connectivity of the road network and climatic features.

Stimulating the use compact (low volume engine) cars in the Republic of Kazakhstan as a whole can lead to a reduction in GHG emissions from transport by 1.3 %. Increasing the connectivity of the road network can lead to a 30 % reduction in GHG emissions from motor vehicles.

Differences in the carbon intensity of urban transport associated with climatic features exceed 5 %.

Measures to reduce GHG emissions from vehicles are hampered by the lack of reliable estimates of the spatial distribution of GHG emissions in certain areas of the city. The conducted studies showed that in the cities of Nur-Sultan and Almaty, the potential for reducing emissions through the modernization of the road network has been largely exhausted. In the cities of Karaganda, Shymkent, Ust-Kamenogorsk, production sites of enterprises, technogenically transformed territories and natural objects fragment the road network, reducing the connectivity factor.

Thus, the implementation of measures to decarbonize the transport sector allows the cities of Kazakhstan to make a significant contribution to the implementation of national goals adopted under the Paris Agreement. The implementation of measures in the transport sector is of particular importance in the cities of the West, South-West and South of Kazakhstan.

References

- 1 Cities and climate change: Strategy directions. Global report on human settlements. London; Washington, DC — 2011.
- 2 Intended Nationally Determined Contribution — Submission of the Republic of Kazakhstan. Retrieved from https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Kazakhstan%20First/INDC%20Kz_eng.pdf
- 3 Доктрина (Стратегия) достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года (Проект). Электронный ресурс. Режим доступа: <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=11488215>
- 4 Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577. О концепции перехода Республики Казахстан к «зеленой» экономике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577>
- 5 The London Plan. The spatial development of London consolidated with alterations since 2011. — London: Greater London Authority, 2015. — 408 p.

- 6 Chicago Climate action plan. Chicago: Chicago Authority, 2010. — 60 p.
- 7 Методические указания по расчету эмиссии «зеленых» газов от предприятий мототранспорта. RND. — Астана, 2010. — 22 с.
- 8 Руководящие принципы оценки выбросов из неточечных источников. — Женева: UNITAR RWP Technical Support, серия 3. — 1998. — № 3. — 71 с.
- 9 Choi J. Forecast of CO₂ Emissions From the U.S. Transportation Sector: Estimation From a Double Exponential Smoothing Model / J. Choi, B.C. Roberts, E. Lee // Journal of the Transportation Research Forum. — 2014. — Vol. 53 (3). — P. 63–81.
- 10 Giri S. Building a Carbon Dioxide Emissions Model for the City of Redlands S. Giri. — MS GIS Program Major Individual Projects. — 2010. — Vol. 8. — P. 88.
- 11 Kerimray A. Analysis of the energy intensity of Kazakhstan: from data compilation to decomposition analysis / A. Kerimray, I. Kolyagin, I.B. Suleimenov // Energy Efficiency. — 2018. — Vol. 11. — P. 315–335.
- 12 Shipper L. Transport and Carbon Dioxide Emissions: Forecasts, Options Analysis, and Evaluation. Transport and Carbon Dioxide / L. Shipper, H. Fabian, J. Leather. — Asian Development Bank, 2009.
- 13 Абдельдинова Д.Ж. Опыт использования концепции и морфотипа застройки для геоэкологических исследований городов (на примере Астаны) / Д.Ж. Абдельдинова, О.А. Климанова, Е.Ю. Колбовский // Мир геоэкологии. Геоэкологические проблемы и пути их решения. — М.: МГУ, 2017. — С. 298–308.
- 14 Кочуров В.И. Эколого-градостроительный баланс и перспективы развития мегаполиса Москвы как центра конвергенции / В.И. Кочуров, И.В. Ивашкина, Ю.И. Ермакова // Экология урбанизированных территорий. — 2019. — № 3. — С. 65–73.
- 15 Дехнич В.С. Моделирование объемов выброса парниковых газов в городах с использованием данных различной детальности / В.С. Дехнич // Inter Karto. Inter GIS. — 2020. — Т. 26. — С. 257–270.
- 16 Кулашов А.С. Условия и факторы атмосферного загрязнения автотранспортом на примере городов-миллионников России и Казахстана / А.С. Кулашов // Ломоносов — 2019: XVI Междунар. науч. конф. студ., магистр. и молод. ученых. — Нур-Султан: Казахстанский филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. — С. 227–230.
- 17 Дехнич В.С. Расчеты выброса парниковых газов при использовании дорожного транспорта города Астаны / В.С. Дехнич // Aspirant. — 2015. — № 10. — С. 68–74.
- 18 Битюкова В.Р. Экологический портрет российских городов [Ecological portrait of Russian cities] / В.Р. Битюкова, Н.С. Касымов, Д.В. Власов // Экология и промышленность России. — 2011. — № 4. — С. 6–18.
- 19 Касымов Н.С. Проблемы экогеохимии крупных городов / Н.С. Касымов, В.Р. Битюкова, А.В. Кислов // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 7. — С. 8–13.
- 20 Постановление Правительства Республики Казахстан от 11 августа 2009 г. № 1210. Об утверждении норм расходов горюче-смазочных материалов для государственных органов Республики Казахстан и расходов на содержание автотранспорта [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P090001210_

В.С. Дехнич, Н.М. Дронин

Қалалық жеке көлікті декарбонизациялау факторлары

Мақала Қазақстан Республикасының ірі қалалары мен облыс орталықтарының көлік саласындағы парниктік газдар шығарындыларының үлесін бағалауға арналған. Жүргізілген зерттеулер барысында Қазақстанның 17 қаласында жеке көліктердің шығарындылары есептелген; қалалық округтер бойынша шығарындыларды кеңістіктік саралау ерекшеліктерін декларациялауға; қалалардағы автокөліктің көміртек сыйымдылығының негізгі факторлары айқындалған; осы факторлардың маңыздылығын сипаттайтын сандық көрсеткіштер айтылған және қаралатын факторлардың маңыздылығына баға берілген. Бес репрезентативті қаланың (Нұр-Сұлтан, Алматы, Шымкент, Өскемен, Қарағанды) мысалында жол желісінің байланыстылығын төмендетудің негізгі кеңістіктік-географиялық себептері және көміртек сыйымдылығын төмендетудің негізгі қағидаттары айқындалды. Зерттеулер өңірлердің отын-энергетикалық теңгерімінің статистикалық нысандарын қоса алғанда, Қазақстан Республикасы Статистика комитетінің деректеріне; демографиялық жылнамаларға; көлікті пайдалану туралы ақпаратты қамтитын статистикалық жинақтарға; «Яндекс Кептеліс» және «Көшелердің ашық картасы» ашық геопорталдарының деректеріне; ГАЗ есептеулерінің нәтижелері бойынша және КӨЖҮСТ бекіткен әдіснамалық құжаттарға негізделген.

Кілт сөздер: климаттық саясат, қалалық көлік жүйелері, Қазақстан қалалары, парниктік газдар шығарындыларын азайту.

В.С. Дехнич, Н.М. Дронин

Факторы декарбонизации городского частного транспорта

Статья посвящена оценке вклада выбросов парниковых газов транспортной отрасли крупных городов и областных центров Республики Казахстан. В ходе проведенных исследований нами рассчитаны выбросы от частных автомобилей в 17 городах Казахстана; декларированы особенности пространственной дифференциации выбросов по городским округам; определены основные факторы углеродоемкости автотранспорта в городах; выявлены количественные показатели, описывающие значимость этих факторов, и дана оценка значимости рассматриваемых факторов. На примере пяти репрезентативных городов (Нур-Султана, Алматы, Шымкента, Усть-Каменогорска, Караганды) были определены основные пространственно-географические причины снижения связности дорожной сети и основные принципы снижения углеродоемкости. Исследования основаны на данных Комитета по статистике Республики Казахстан, включая статистические формы топливно-энергетического баланса регионов; демографические ежегодники; статистические сборники, содержащие информацию об эксплуатации транспорта; на данных открытых геопорталов «Яндекс Пробки» и «Открытая карта улиц»; по результатам расчетов ГИС и по методологическим документам, утвержденным МГЭИК.

Ключевые слова: климатическая политика, городские транспортные системы, города Казахстана, сокращение выбросов парниковых газов.

References

- 1 United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2011). *Cities and climate change: Strategy directions*. Global report on human settlements. London; Washington, DC.
- 2 Intended Nationally Determined Contribution — Submission of the Republic of Kazakhstan. Electronic resource. Regime of access: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Kazakhstan%20First/INDC%20Kz_eng.pdf
- 3 Doktrina (Strategiia) dostizheniia uglerodnoi neutralnosti Respubliki Kazakhstan do 2060 goda (Proekt) [Doctrine (Strategy) of achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060 (Project)]. Retrieved from <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=11488215> [in Russian].
- 4 Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 30 maia 2013 goda № 577. O Kontseptsii po perekhodu Respubliki Kazakhstan k «zelenoi» ekonomike [Decree of the President of the Republic of Kazakhstan of May 30, 2013 N 577. On the Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to a "green economy"]. Retrieved from <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577> [in Russian].
- 5 (2015). *The London Plan. The spatial development of London consolidated with alterations since 2011*. London: Greater London Authority.
- 6 (2010). *Chicago Climate action plan*. Chicago: Chicago Authority.
- 7 (2010). *Metodicheskie ukazaniia po raschetu emissii "zelenykh" gazov ot predpriatii avtotransporta [Guidelines for the calculation of greenhouse gas emissions from motor transport enterprises]*. Astana [in Russian].
- 8 (1998). *Rukovodiashchie printsipy otsenki vybrosov iz netochechnykh istochnikov [Guidelines for Estimating Emissions from Non-Point Sources]*. Geneva: UNITAR RWP Technical Support, Series 3, 3; 71 [in Russian].
- 9 Choi, J., Roberts, D.C., & Lee, E. (2014). Forecast of CO₂ Emissions From the U.S. Transportation Sector: Estimation From a Double Exponential Smoothing Model. *Journal of the Transportation Research Forum*, 53 (3); 63–81.
- 10 Giri, S. (2010). *Building a Carbon Dioxide Emissions Model for the City of Redlands*. MS GIS Program Major Individual Projects 8–2010.
- 11 Kerimray, A., Kolyagin, I., & Suleimenov, B. (2018). Analysis of the energy intensity of Kazakhstan: from data compilation to decomposition analysis. *Energy Efficiency*, 11; 315–335.
- 12 Shipper, L., Fabian, H., & Leather, J. (2009). *Transport and Carbon Dioxide Emissions: Forecasts, Options Analysis, and Evaluation*. Transport and Carbon Dioxide. Asian Development Bank.
- 13 Abdeldinova, D. Zh., Klimanova, O.A., & Kolbovsky, E.Yu. (2017). Opyt ispolzovaniia kontseptsii morfotipzastroiki dlia geokologicheskikh issledovaniy gorodov (na primere g. Astana) [Experience in using the concept of building morphotype for geocological studies of cities (on the example of Astana)]. *Mir geologii. Geokologicheskie problemy i puti ikh resheniia — World of Geoecology. Geoecological problems and ways to solve them*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 298–308 [in Russian].
- 14 Kochurov, B.I., Ivashkina, I.V., & Ermakova, Yu.I. (2019). Ekologo-gradostroitelnyi balans i perspektivy razvitiia megapolisa Moskvy kak tsentra konvergentsii [Ecological and urban planning balance and prospects for the development of the metropolis Moscow as a center of convergence]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii — Ecology of Urbanized Territories*, 3; 65–73 [in Russian].
- 15 Dehnic, V.S. (2020). Modelirovanie obemov vybrosov parnikovyykh gazov v gorodakh s ispolzovaniem dannykh razlichnoi detalnosti [Modeling of greenhouse gas emissions in cities using data of various levels of detail]. *Inter Karto. Inter GIS*, 26; 257–270 [in Russian].

16 Kulashev, A.S. (2019). Usloviia i faktory atmosfernogo zagriazneniia avtotransportom na primere gorodov-millionnikov Rossii i Kazakhstana [Conditions and factors of atmospheric pollution by motor vehicles on the example of million-plus cities in Russia and Kazakhstan]. Proceedings from *Lomonosov — 2019: XVI Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia studentov, magistrantov i molodykh uchenykh — 16th International Scientific Conference of students, undergraduates and young scientists*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 227–230 [in Russian].

17 Dehnich, V.S. (2015). Raschet vybrosov parnikovykh gazov ot ispolzovaniia avtomobilnogo transporta goroda Astany [Calculation of greenhouse gas emissions from the use of road transport in the city of Astana]. *Aspirant*, 10; 68–74 [in Russian].

18 Bitjukova, V.R., Kasimov, N.S., & Vlasov, D.V. (2011). Ekologicheskii portret rossiiskikh gorodov [Ecological portrait of Russian cities]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii — Ecology and Industry of Russia*, 4; 6–18 [in Russian].

19 Kasimov, N.S., Bitjukova, V.R., & Kislov, A.V. (2012). Problemy ekogeokhimii krupnykh gorodov [Problems of ecogeochemistry of large cities]. *Razvedka i okhrana neдр — Exploration and protection of mineral resources*, 7; 8–13 [in Russian].

20 (2009). *Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 11 avgusta 2009 goda № 1210. Ob utverzhdenii norm raskhodov goriuche-smazochnykh materialov dlia gosudarstvennykh organov Respubliki Kazakhstan i raskhodov na sodержanie avtotransporta [Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan of August 11, 2009 N 1210. On Approval of Norms of Expenses of Fuel and Lubricants for the State Bodies of the Republic of Kazakhstan and the Expenses for the Maintenance of Vehicles]* [in Russian]. Retrieved from https://adilet.zan.kz/rus/docs/P090001210_

A.V. Khoroshev^{1*}, O.G. Kalmykova², A.P. Ashikhmin¹¹*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia;*²*Institute of Steppe, Ural Branch of RAS, Orenburg, Russia***Corresponding author: avkh1970@yandex.ru*

Hydrothermal conditions of the temporal variability of the phytoproductive functioning: case study of the Burtinskaya steppe landscape (Southern Urals)

The interpretation of a geographic landscape as a geosystem requires evidence that, under certain conditions, an external signal has a similar response in its spatial elements. The article examines the similarities and differences in the response of units in the steppe landscape of the Southern Urals (Burtinskaya steppe) to varying hydrothermal conditions. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used as an indicator of intra-seasonal variability in phytomass dynamics. 110 standardized increments of NDVI during the growing seasons in 2010–2020 were ranked and interpreted as types of dynamics in comparison with background modal values. The occurrence and diversity of types of phytomass dynamics within the model units (gullies, ridges, and interfluvial flat surfaces) vary depending on hydrothermal conditions and the length of the time interval between measurements. The integrity of the unified response in the landscape is enhanced during dry periods, when changes in phytomass in gullies and on ridges differ little from those on spatially dominant slopes and flat surfaces. Strong deviations from the background dynamics often appear at intervals of up to 2 months, but are compensated for within 4–5 months. The dynamics of hydrothermal conditions over the entire growing season manifests itself in phytomass changes in a similar way over the landscape, which proves the connection between the spatial and temporal parameters of landscape organization. Depending on the landform, phytocenoses adapt to the late summer moisture deficit either by transitioning to another stable state of structure while maintaining the intensity of functioning (self-organization), or by maintaining the structure while reducing the intensity of functioning (self-regulation).

Keywords: steppe, NDVI, phytomass dynamics, moisture, resilience, landscape unit.

Introduction

The spatio-temporal organization of geosystems has long been recognized as the main subject of landscape science and landscape ecology [1, 2]. Since the 1980s it is known that interactions between landscape components are possible only when their characteristic time scales are comparable [3–5]. A regular relationship has been established between the characteristic time scales of geosystem processes and the characteristic space scale of their manifestation [3, 6]. Since the geographical landscape is usually interpreted as a geosystem [1], evidence is required that, under certain conditions, an external signal is perceived in a similar way by the spatial elements of this geosystem. This would mean that the landscape responds to external influences as a holistic entity. From a practical point of view, this means the predictability of the behavior of the landscape parts following any strong changes at a regional or global scale. The response to climate changes is most often the subject of research. One of the informative indicators of the landscape state has long been considered its bioproductivity, which sensitively responds even to short-term changes in hydrothermal conditions. Bioproductivity studies are labor-consuming [7]. However, the development of space technologies has provided convenient and affordable means of studying the spatial organization of bioproductivity in the form of numerous indices calculated by means of geoinformation systems based on multi-band satellite images. Among them, the normalized difference vegetation index (NDVI) has become the most popular. This index is most often used to identify trends in phytomass over long-term periods, especially over the past 40 years, which were marked by significant warming in many regions. Less commonly, it is used as an indicator of short-term variability in phytoproductive functioning.

The range of possible states and variants of transition from one state to another can serve as a relevant indicator of the landscape stability types, its adaptation to the range of fluctuations in external conditions (including climate or anthropogenic loads). The definition of a geographical landscape includes a single climate [8, 9]. Consequently, fluctuations in the hydrothermal conditions, characteristic of the regional climate, are expected to find some response in all spatial units of the landscape. If most spatial units of a territory pass

from one state to another in approximately the same way, then such a territory may be considered as a holistic entity. At the same time, a genetically-uniform geographical landscape, by definition, is a mosaic territory. Mosaic is explained by internal processes in the landscape, primarily geomorphological ones [1]. Therefore, the question of the relationship between internal mosaicity and the possibility of a holistic response to external influences is of particular interest. With the obligatory originality of the “behavior” of each element of the landscape mosaic, there must be some unity of their reaction to external signals.

Steppe landscapes are particularly sensitive to interannual and intraseasonal fluctuations in hydrothermal conditions, which are expressed in the phytomass values. The usual seasonal rhythm of the steppes is well known. It involves the maximum accumulation of phytomass in the first half of summer and its reduction in the second half, accompanied by a pause in the vegetation of many species [10, 11]. In space, the slightest variations in soil moisture supply are well-reflected in the species composition of the phytocenosis. The dynamic characteristics of phytomass, which are subject to the phenological rhythms of dominant species and intra-seasonal hydroclimatic fluctuations, can indicate soil hydrology parameters. Therefore, one may consider the steppes as a convenient testing ground for studying the question to what extent and under what conditions the landscape mosaic is consistent with or contradicts the assumption of the landscape integrity.

More than 30 years ago, V.A. Bokov [5] developed a classification of geographical landscape integrity types, one of which he called the integrity of the unified response. This type of integrity is the focus of our study, carried out on the example of a low-mountain-steppe landscape in the Russian part of the Southern Urals.

By holistic functioning, in this study, we mean the subordination of most landscape units over a certain time interval to the same type of phytomass dynamics, indicated by NDVI values. The unity of the type of dynamics was understood as a change in phytomass by approximately the same value following a change in the background hydrothermal conditions that are common for the whole landscape.

In the study, we sought answers to the following questions. 1) How integral is the functioning of the landscape unit in different hydrothermal conditions? If there is a unified reaction of phytomass to hydrothermal changes, is it close to the background modal dynamics of the entire landscape or different from it? Under what conditions can a landscape unit function independently of a most part of a landscape? 2) How do the reactions of the structure and functioning of the phytocenosis in various units differ with increasing moisture deficit? 3) Is there a relationship between the occurrence of local deviations from the modal phytomass dynamics and the duration of the time interval between NDVI measurements?

Experimental

The study was carried out in the Burtinskaya steppe, located in the Belyaevsky district of the Orenburg region of Russia. It occupies the interfluvium of the left tributaries of the Ural river — the Urta-Burtya and Burylya rivers (Fig. 1).

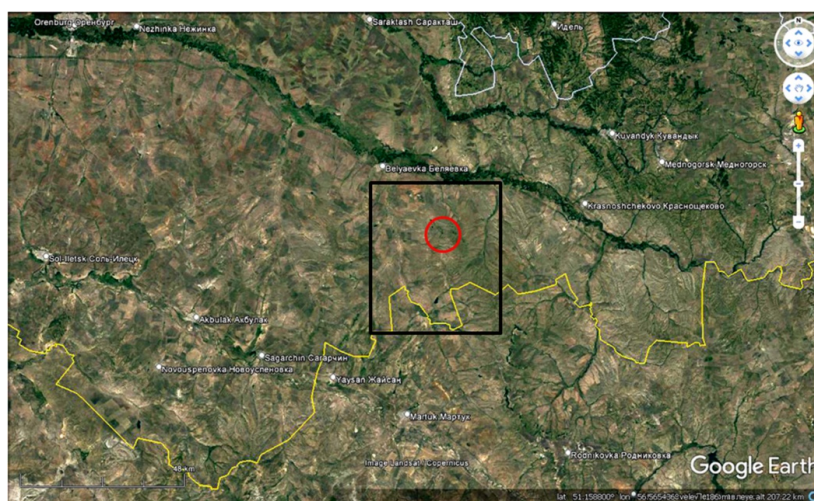


Figure 1. Geographical position of the Burtinskaya steppe.

Note — The black rectangle is the area for calculating NDVI-based indices. The red circle is a place for field research in the Orenburg Nature Reserve. The yellow line is the border between Russia and Kazakhstan. Space image: Google Earth

Part of the territory belongs to the section of the Orenburg State Nature Reserve. The territory is located in the continental sector of the typical steppe subzone. The landscape belongs to a foothill deeply dissected structurally erosive elevated plain composed of Permian-Triassic conglomerates and sandstones. Typical steppes with dominance of *Stipa zalesskii*, *Festuca valesiaca*, and forbs are formed on Calci-Glossic Chernozems and Lithozems [12–14]. On the slopes of elevated massifs, gently sloping ridges with steppes alternate with gullies dominated by shrubs and forbs. In the most deeply incised gullies birch-aspen thickets occur. The low hypsometric level is occupied by accumulation and denudation-shaped plains. At the foot of the massifs, a large area is occupied by gently-rolling plains, dissected by shallow gullies. In the wide flat-bottom valleys and along streams, sedge and reed meadows occur as well as black alder forests on Gleyic Chernozems. In some sites, there are galophytic communities on Solonetztes and Solonchaks.

To study the intra-seasonal dynamics of NDVI as an indicator of green aboveground phytomass, we used 50 Landsat 5 and Landsat 8 satellite images with a resolution of 30 m from 2010 to 2020, covering the period from April to October. The further calculation included 1381765 pixels in an area of 1243 km², including protected and agricultural areas (Fig. 1). We calculated differences in NDVI values between all possible imagery dates of one year: earlier NDVI minus later NDVI. Totally, difference values for 110 pairs of dates were obtained. At the next step the original algorithm [15–17] was implemented. It allows one to relate the modes of functioning in time to the landscape spatial pattern and establish ratios of factors acting at different scales. The resulting estimates do not depend on inter annual fluctuations in phytomass, since the basis is standardized increments of phytomass between two dates. The values of NDVI increments standardized for each pair of dates were recorded into five gradations. The gradations reflect the degree of deviation from the background NDVI increment, that is, deviation from the modal range of values, which in all cases turned out to be close to the average value in the landscape. Hence, they reflect the degree of deviation from the modal response of the landscape to seasonal climatic rhythms. Below, these gradations are referred to as the phytomass dynamics types (PhDT). The sense of dynamics types is as follows (Fig. 2). PhDT 1: Strong deviations from the background dynamics of more than 1.5 standard deviations from the average landscape increment in the negative direction. PhDT 5: The same with a positive deviation from the mean. PhDT 2: Slight deviations from the background dynamics within 0.5–1.5 standard deviations in the negative direction. PhDT 4: The same in the positive direction from the average. PhDT 3: Background dynamics, 0.5 standard deviations either side of the mean increment over the landscape. The background increment (PhDT 3) was interpreted as subordination to the seasonal dynamics of weather conditions, which is the same for the entire landscape, and the low contribution of local conditions for the water and nutrients migration. Large deviations (PhDTs 1 and 5) and small deviations (PhDTs 2 and 4) from the background increment were interpreted as a significant contribution of local factors that distort the landscape-scale rule. The probability of each PhDT for each pixel was calculated. Based on the set of probability values of five PhDTs, the measure of instability (H) was calculated using the Shannon formula. The higher the measure of instability H, the more often five PhDTs replace each other over a period. The maximum value of H is achieved with the same repeatability of five PhDTs, the minimum — in the presence of only one PhDT. The general regularities of the spatial distribution of PhDTs and H in the Burtinskaya steppe were described in our previous publication [18].



Figure 2. Scheme of types of phytomass dynamics (PhDTs)

Note — The X-axis is the sequence of dates during the growing season; Y-axis — Green aboveground phytomass as indicated by NDVI. 1–5 — types of green phytomass dynamics (PhDTs)

To get insight into the mechanisms of functioning stability, we performed a study at three transects and in a group of analogous units on the interflaves. Three transects differ in landscape pattern and together

characterize all the main variants of the landscape diversity in the Burtinskaya steppe. At each transect descriptions of landscape and geobotanical characteristics were recorded at a regular step of about 30 m. They cover adjacent pixels of a satellite image, provided by calculations of frequency of each of the five PhDTs and H. Transect 1 (“ridges and flat-bottom valleys”): from the upper reaches of the gully to the watershed with the intersection of the south-facing and north-facing slopes and two flat-bottom valleys (19 sites). The transect 1 contains almost all types of units of the Mueldy massif. Transect 2 (“gully”): bushy gully 2–5 m deep cutting the northwest-facing slope of the Mueldy massif (17 sites) and one background interfluvial unit above the catchment depression. Transect 3 (“ridges and saddles”): along a ridge-like surface in the north-western part of the Mueldy massif between two valleys with the intersection of several saddles (19 sites). As the fourth model group, the analogous zonal steppe associations of flat interfluvial surfaces were considered [14]. For each transect, we calculated the occurrence of each PhDT for each pair of dates and a measure of the spatial diversity of PhDTs according to the Shannon formula.

The obtained occurrence values for each PhDT and their diversity on transect for each pair of dates were examined for correlations with the hydrothermal indicators of each year and the period between each pair of dates. To characterize hydrothermal conditions we used the average annual and monthly temperatures and precipitation, as well as the Selyaninov hydrothermal coefficient based on the data of the nearest meteorological station Belyaevka. To assess the relationships between the integrity of the functioning of a landscape unit and hydrothermal conditions, the years from 1960 to 2020 were classified by standardized monthly and average annual temperatures and monthly and annual precipitation. Four categories were distinguished: warm mid-humid, cool humid, hot dry and cold wet years. We used analysis of variance (ANOVA) to test the hypothesis that the occurrence of PhDTs on transect may vary depending of hydrothermal conditions of a year. Spearman correlation coefficients were calculated to evaluate the dependence of the occurrence and diversity of PhDTs on the duration of the period between NDVI measurements.

The research focused on the following issues: a) phytocenotic mechanisms of each of the five PhDTs; b) hydrothermal conditions for the integral functioning of landscape units; c) hydrothermal conditions for the subordination of a group of studied units to a holistic mode of landscape functioning (i.e., the predominance of the background 3rd PhDT in the absolute majority sites). A high occurrence of one PhDT and a low diversity of PhDTs were treated as an indicator of the integral functioning of a landscape unit.

Results

Field interpretation of the PhDTs showed the main reasons for the variation in phytomass increments relative to background modal values (Fig. 2).

The lowest values of the instability measure H were achieved, as a rule, due to the predominance of background dynamics (PhDT 3) both at short (up to 2 months) and long (3–5 months) intervals between NDVI measurements. This is typical for elevated plateaus, low-level accumulative plains, and gentle slopes of low mountains dominated by *Stipa zaleskii*, *Festuca valesiaca*, *Helictotrichon desertorum*, and xerophilous forbs. Using the time series of ground-based measurements of the phytomass in 12 communities for the growing season 2015–2020 [14] we obtained a positive correlation between the NDVI for the corresponding date and the phytomass indicators, namely, aboveground green phytomass, green phytomass of forbs, green phytomass of *Poaceae* species (especially in July), and the ratio of green phytomass to dead aboveground mass. Spearman correlation coefficients in the summer months accounted for 0.5–0.7.

The highest instability of PhDTs (H) were achieved in gullies due to a regular switch between PhDTs 2 and 4, as well as periodic manifestations of background dynamics (PhDT 3) and maximum deviations from it (PhDTs 1 and 5). In spring and early summer, phytomass accumulation occurs at a higher rate than in the background steppe conditions (PhDTs 1 and 2). It is replaced by a rapid decrease in phytomass in the second half of summer and autumn at a higher rate than in the background steppe conditions (PhDTs 4 and 5). Such a change is explained by the short duration of the action of the local factor, namely — high soil moisture within 30–60 days after the spring snowmelt. In the second half of summer, the effect of this factor ceases. The thaw moisture in the soils becomes depleted, while summer precipitation is spent on physical evaporation. Since the dominant plant species of mesophytic communities (*Calamagrostis epigeios*, *Sanguisorba officinalis*, *Trifolium media*) are not adapted to the rapid drying of the soil, the phytomass is sharply reduced.

PhDT 1 corresponds to a rapid spring and early summer accumulation of a large phytomass in meadow communities without its subsequent sharp decrease in the second half of summer. During the entire growing season, a strong local factor of sufficient soil moisture acts. As a result, the phytomass is practically preserved or decreases much less than in the background steppe landscape. The species composition is dominat-

ed by *Phragmites australis*, *Carex sp.* In phytocenoses *Galium aparine*, *Lavatera thuringiaca*, *Lythrum salicaria*, and *Sium sisarum* are typical. Soils are distinguished by powerful humus accumulation (up to 50–70 cm) and gleyization in the lower horizons.

PhDT 5 is never dominant throughout the growing season. It manifests itself almost exclusively in the second half of summer in the form of a maximally sharp (compared to modal values of the landscape) decrease in green phytomass. Such phytomass dynamics corresponds to the termination of the action of a strong short-term local influence of excessive soil moisture supply. The period of significant accumulation of phytomass in gullies and valleys is associated with the intensive development of leaves of trees and shrubs (*Salix sp.*, *Populus tremula*, *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa*, *Spiraea crenata*, *S. hypericifolia*, *Genista tinctoria*), as well as spring-flowering herbaceous plants characteristic of such habitats plants (*Pulsatilla patens*, *Anemona sylvestris*, *Tulipa biebersteiniana*, *Fritillaria meleagroides*, *F. ruthenica*). The drying up of temporary streams and a decrease in soil moisture reserves results in the disappearance of spring-flowering species from plant communities and in a decrease in the productivity. Quantitatively this process is reflected by a high H value and a sharp decrease in NDVI in gullies with short-term spring moisture supply. In larger, deeply incised gullies and along the bottoms of valleys, accumulation of large phytomass in spring and early summer is not replaced by its sharp decrease in the second half of summer (PhDT 1), probably due to the conservation of phytomass by trees and shrubs. A sharp decrease (PhDT 5) occurs only in October due to changes in the composition of leaf pigments and leaf fall. Such changes in the PhDTs are realized in the bottoms of the valleys and the most deeply incised gullies, where the snow cover can persist until the beginning of May.

A study of a shrubby (*Spiraea hypericifolia*, *Cerasus fruticosa*, *Amygdalus nana*) gully on a transect 2 showed that the unity of the phytoproductive functioning regime may be disturbed by differences in the intensity of moisture and nutrients circulation. From the middle incised part of the gully upward to the catchment depression, xeromesophytes (*Elytrigia repens*, *Filipendula vulgaris*, *Melampyrum arvense*, *Phleum phleoides*, *Pulsatilla patens*, *Seseli libanotis*) are gradually replaced by mesoxerophytes (*Artemisia marschalliana*, *Centaurea marschalliana*, *Falcaria vulgaris*, *Galium ruthenicum*, *Hieracium virosum*, *Phlomis tuberosa*, *Poa transbaicalica*, *Scorzonera austriaca*, *Serratula cardunculus*, *Veronica incana*) and xerophytes (*Stipa lessingiana*, *Stipa zalesskii*, *Artemisia austriaca*, *Galatella villosa*, *Festuca valesiaca*). This corresponds to an increase in the frequency of background dynamics (PhDT 3) at time intervals of 2–4 months (type 3), zero frequency of large deviations (PhDT 1 and 5), and a decrease in the frequency of small deviations (PhDT 2 and 4). The upper reaches of the gully differ from the background dynamics, as a rule, only at short intervals up to 1–2 months.

The bottoms of narrow gullies are characterized by increased accumulation of snow in winter due to wind-induced transport and slower (compared to slopes) melting in shaded positions in spring. This ensures a high level of groundwater and surface runoff in May and June when heat supply is high. Therefore, meadow communities increase their phytomass in spring and early summer much faster than the background steppe (PhDT 1). In the second half of summer, adaptation to the increasing moisture deficit and falling groundwater level is manifested in a sharp reduction in phytomass (PhDT 5) without changes in species composition. The background dynamics (PhDT 3) at long intervals (April–October) appears occasionally, in hot dry years (2010, 2019) or manifests itself at short 1–2-month intervals. The larger the catchment area is, the higher the repeatability of (PhDT 1) dynamics in the gully bottoms.

The saddles are characterized in April by the development of ephemerooids (*Pulsatilla patens*, *Adonis wolgensis*, *Fritillaria ruthenica*, *Tulipa biebersteiniana*, and *Tulipa gesneriana*) quickly creating a large mass. Summer losses of phytomass (PhDT 4) due to their death turn out to be greater than the modal ones. The degree of instability is higher than on the slopes due to the more frequent manifestation of strong phytomass losses compared to the modal conditions of the landscape. Under extreme dry summer conditions, the communities adapt by a large reduction in phytomass of the dominant grass species (*Stipa zalesskii*, *Festuca valesiaca*, and *Agropyron cristatum*).

On the south-facing steep slopes in the second half of summer, an increased abundance of *Artemisia austriaca* and *Galatella villosa* with a small (45–40 %) projective cover contributes to the partial preservation of phytomass (PhDT 2). The phytocenosis adapts of the to the summer depletion of soil moisture by the replacement of species, i.e. structural changes.

On the steep west-facing slopes, the phytomass dynamics during the period from May to September does not differ from the landscape background trends. Other PhDTs (2 and 4) occur only at short intervals; at longer 4–5-month intervals, the background dynamics is restored.

On the tops of hills with petrophytic conditions, the deviation from the background dynamics at long 4–5-month intervals (May–September) may be manifested in a relatively small summer decrease in phytomass (PhDT 2). The phytocenosis adapts to moisture deficit by a decrease in the projective cover with a steady dominance of *Festuca valesiaca*, *Artemisia austriaca*, and *Stipa lessingiana*.

In flat bottoms of gullies and at the footslopes, an increase in the proportion of mesoxerophytes and mesophytes (*Bromus inermis*) is accompanied by a sharp drop in phytomass by the second half of summer. The strategy of adaptation is to reduce the phytomass of dominant species without changes in species composition. However, at a greater distance from the footslopes, a decrease in the abundance of mesoxerophytes and *Bromus inermis* results in the dominance of background dynamics with a moderate summer decrease in phytomass.

At the next step, we tested the hypothesis about the unified reaction of the Burtinskaya steppe landscape to the weather conditions of a year, i.e. about the integrity of the unified response (*sensu* [5]). In general, in the landscape of the interfluvium of the Urta-Burtya and Burlya rivers, the most integral functioning (the minimum variety of PhDTs) is typical for hot dry years. To understand the reasons, the issue was studied in details in three groups of landscape units provided with pixel-by-pixel descriptions of the phytocenosis.

On transect 1 (“ridges and flat-bottom valleys”), an increased occurrence of background PhDT 3 with a reduced occurrence of small deviations (PhDTs 2, 4) was typical for warm, moderately humid years (2013, 2015, 2016, 2017, 2020). In cool wet years, the diversity of PhDTs increased over a time interval of more than 3 months. Different types of units (gullies, flat-bottom valleys, interfluviums, north- and south-facing slopes) reacted differently to increased moisture. Hence, the integrity of unified response was lost by a landscape.

On transect 2 (“gully”) in the hottest dry years (2010, 2012, 2014, 2019), at time intervals of more than 2 months, the occurrence of background dynamics increased (PhDT 3), the occurrence of large deviations from it (PhDTs 1 and 5) sharply decreased. Small deviations from the background dynamics manifested themselves mainly at short intervals of less than 2 months. For example, in July–August of dry 2010, most of the phytocenoses were in the mode of strong phytomass loss (PhDTs 4 and 5). The minority was in the background mode. None of the phytocenoses preserved the phytomass despite increased moisture in the concave landform. In the same period of wet 2018, the variety of PhDTs was minimal, but of a different kind. The synchrony of functioning was manifested in the deviation from the background dynamics towards increased resistance to the summer pause of the vegetation of the steppe landscape. PhDT 2 with a relatively small loss of phytomass prevailed. This indicates favorable conditions for mesophilic and xeromesophilic forbs.

On transect 3 (“ridges and saddles”), in the dry year of 2010, the maximum synchrony of phytoproductive functioning with the rest landscape occurred, regardless of the position in the relief (slopes of different exposures, a ridge, a saddle, or a flat bottom of a gully). Almost all phytocenoses were in the background functioning mode with a moderate loss of phytomass. In the wet year of 2018, most of the slope phytocenoses functioned independently of the background dynamics and supported the phytomass (due to *Artemisia austriaca*, *Galatella villosa*). The background dynamics persisted only in the saddles and at the bottom of the gully with an increased abundance of *Stipa zalesskii* and a reduced abundance of *Festuca valesiaca* and *Galatella villosa*.

In the group of phytocenoses on interfluviums, diversity of PhDTs was maximum in hot dry years. In medium-warm, moderately humid years, an increased summer loss of phytomass took place (PhDT 4). In wet years, the frequency of the background dynamics increased (PhDT 3).

Based on the material of each of the above four model groups of landscape units, we investigated the question: does the occurrence of PhDTs for each pair of dates depend on the duration of the time interval between the dates of satellite imagery and the position of the interval within the season? The occurrences of PhDTs were compared for time intervals with a comparable start date and duration (about 40, 60, 90 days) for years with different hydrothermal conditions. In addition, we tested the hypothesis that within the growing season there is a direct relationship between the duration of the interval and the occurrence of background dynamics (PhDT 3).

At the landscape scale, at short intervals (up to 15 days) and at long intervals (more than 30 days), a decrease in the area of background dynamics occurred due to relatively small deviations from background increments (i.e., the transition to PhDTs 2 and 4). However, at intervals of 15–30 days, along with small deviations, stronger deviations from the background dynamics were possible with a transition to PhDTs 1 and 5. The longer the interval, the less often were replacement of background dynamics by strong deviations from it. Thus, strong deviations from the background dynamics outside the gullies can be induced by the local fac-

tors lasting 15–30 days. The breakdown of the integral phytoproductive functioning of the landscape into separate types at intervals of up to 60 days is most pronounced in the first half of the season (with the initial date of the interval in April and May), which can be seen from the values of the measure of the spatial diversity of PhDTs (Fig. 3). During the summer, the variety of functioning options decreases from June to August. However, at the end of the season (with the initial date of the interval in August), depending on the hydrothermal conditions, the spatial diversity of PhDTs may vary greatly from year to year. It was minimal in 2014, which was characterized by very dry weather in August and September. The area with the background PhDT 3 was the maximum. In September, the variety of options increases again.

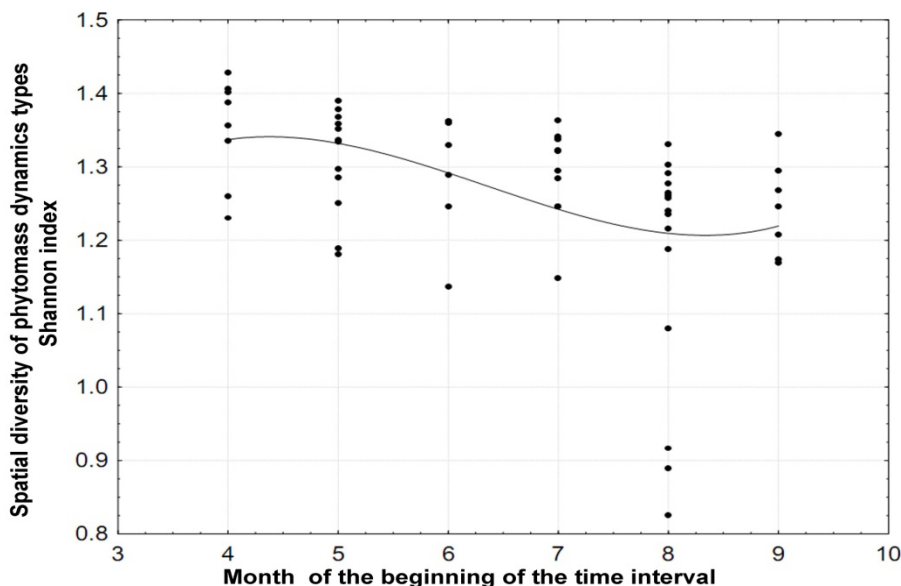
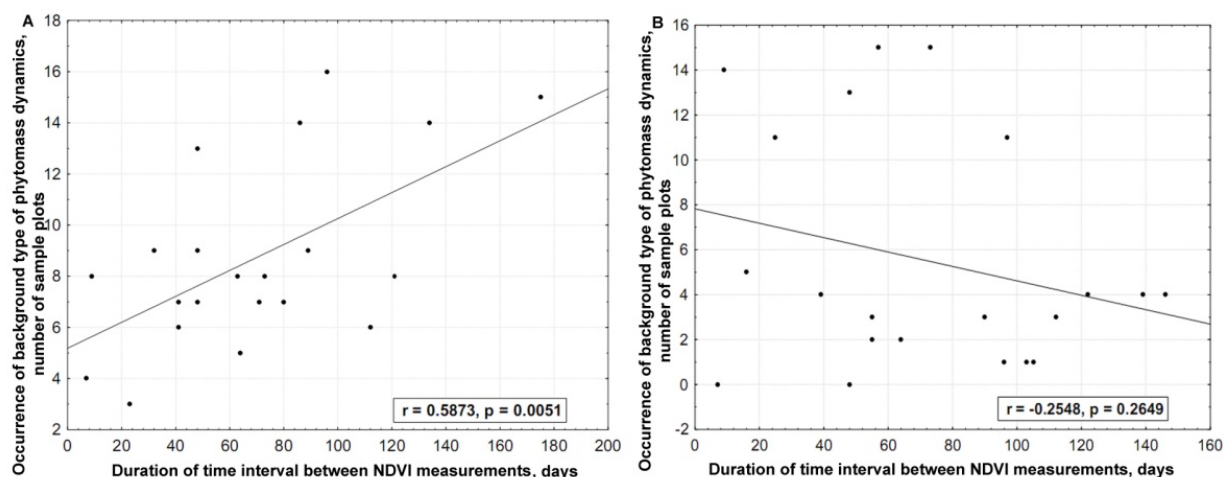


Figure 3. Change in the measure of spatial diversity of phytomass dynamics types (PhDTs) in the Burtinskaya steppe landscape depending on the month of the beginning of the time interval of less than 60 days



A — hot dry 2010; B — warm humid 2015; r — Pearson's correlation coefficient; p — significance level

Figure 4. Dependence of the occurrence of the background type of phytomass dynamics in the hollow stow on the duration of the NDVI measurement interval

For example, within transect 1 (“ridges and flat-bottom valleys”), the maximum diversity of dynamics types was usually observed at short time intervals (up to 15 days). The increase in the duration of the interval with the beginning in May–June is consistent with the increase in the uniformity of the PhDTs. In interfluvial zones with zonal steppe communities, the consistency with the whole landscape was high at 4–5-month intervals. In other words, the difference between the phytomass of the beginning and end of the growing season coin-

cided on all plots and corresponded to the modal increments characteristic of most of the landscape. In the interval of 30–60 days, the synchronous dominance of the background dynamics on the interfluves took place only at low average daily temperatures of less than 14 °C in autumn and spring. At the highest temperatures, dominance passes to PhDT 4 corresponding to a strong loss of phytomass in late summer. On transect 2 (“gully”), an increase in the occurrence of background dynamics with an increase in the duration of the interval was clearly manifested in dry years (Fig. 4, A). However, in wet years, sufficient soil moisture throughout the season maintained the phytomass at a level that differed greatly from the background steppe (Fig. 4, B).

Discussion

The study enabled us to identify phytocenotic features corresponding to the predominance of each type of phytomass dynamics and their changes during the growing season.

In hot dry years, the uniformity of the types of phytomass dynamics increases at a landscape scale. This is explained by the fact that numerous gullies and narrow ridges lose the originality of their mode of operation and obey the modal PhDT 3. In other words, the integrity of the unified response of the landscape [5] to the growth of moisture deficiency is enhanced. In cool, humid years, the functional integrity of the landscape decreased, and the diversity of types of dynamics increased. The area with reduced phytomass losses increased in the second half of summer relative to the background. Different landscape units (gullies, flat-bottom valleys, flat interfluves, slopes) reacted differently to increased moisture; the integrity of the same type of response was lost.

The background phytomass dynamics (PhDT 3), covering the main part of the landscape, was usually most pronounced in most landscape units over a long interval (3–5 months), especially in hot dry years. For short periods (up to 1 month or 1–2 months) within the season, under the influence of short-term activation of local factors, deviations from the background dynamics often occur. Possible explanations involve an increase in soil stoniness, a sharp moisture deficit, a temporary excess of soil moisture after spring snowmelt or rains, and a short-term high position of groundwater in a gully.

In the gullies, which combine the features of steppe and meadow phytocenoses, during extreme drought, there was a sharp reduction in the mass of forbs. By this, they switch to the “steppe” mode of functioning. Consequently, in arid conditions, a shallowly incised gullies lose their inertia of functioning and, hence, originality as a separate landscape unit. The phytocenoses in convex well-drained landforms (ridges) are also subject to the integrity of the unified response at a landscape scale during dry periods. Flat and gently sloping interfluves, on the contrary, join the background dynamics in cool wet years, and function independently in dry years. Thus, the types of natural landscape units (flat interfluves, slopes, ridges, gullies) “join” the background dynamics of the landscape scale under different hydroclimatic conditions.

Strong deviations from the background dynamics outside the gullies can be induced by the local drivers lasting 15–30 days. Shorter intervals are apparently insufficient for the accumulation or disappearance of the required amount of moisture. The diversity of local dynamics factors is most pronounced in the spring. The reasons may be uneven heating and depletion of thawed soil moisture and different duration of the period after snowmelt in convex and concave landforms as well as at different slope aspects. The integrity of the unified response [5] is most clearly realized over the landscape over long intervals about 4–5 months. This means that contrasting types of landscape units (gullies, slopes, plateaus, ridges) increase or lose green and dead phytomass by approximately the same amount, corresponding to the background landscape response to the intraseasonal trend in moisture supply. We believe that this is a vivid confirmation of one of the most important theoretical provisions of landscape science about the consistency of the spatial and temporal scales of geographical processes. The process (in our case, a seasonal decrease in moisture supply, which is reflected in a decrease in phytomass), covering a large area (landscape as a whole), is fully realized only over long time intervals (in our case, 4–5 months). However, with the same duration of the interval (4–5 months), the increase in moisture (Selyaninov coefficient more than 0.4) causes an increase in the diversity of PhDTs, mainly due to an increase in the area covered by the PhDT 2 (partial preservation of phytomass in summer) and PhDT 4 (loss of phytomass in summer is greater than background). Thus, the integrity of the functioning of the low-mountain-steppe landscape is manifested in a rather narrow range of weather conditions corresponding to the hydrothermal norm of the steppe zone with the Selyaninov coefficient of the May-August period less than 0.4.

At short intervals (1–2 months), the functioning switches between a number of types, depending on belonging to one or another type of a landscape unit. The unified functioning at short time intervals is typical

for periods characterized by an increase in stress factors of moisture and heat deficiency. During the growing season, such small deviations compensate each other. As a result, from the “start” to the “end” date of a long time interval, most of the landscape units change their phytomass in approximately the same way, which proves the integrity of the functioning of the landscape as a single geosystem.

Our study provided the opportunity to establish several ways of phytocenoses adaptation to different durations of strong local drivers. Some phytocenoses tend to maintain the structure of the phytocenosis during summer drought by changing the intensity of the biological cycle, more precisely — phytoproductive functioning. Others, on the contrary, change the structure (i.e. species composition) to preserve the phytomass and productivity characteristics, i.e. the volume of the substance involved from the soil into the phytomass. Finally, some phytocenoses have the ability to maintain both the structure and the nature of functioning. In terms of types of stability proposed by M.D. Grodzinsky [19] these ways are referred to as inertness, elasticity, and plasticity.

In the bottoms of the widest valleys with a large catchment area, a large phytomass is retained throughout the summer following its rapid increase in spring. Such dynamics is considered as a manifestation of inertness, that is the ability to maintain structure and functioning under conditions of strong external influence — a decrease in precipitation. In this case, this type of stability is ensured by the constancy of the action of a strong local factor, namely — excessive soil moisture despite a deficit of precipitation.

In the flat-bottom valleys and at the footslopes, inertness under the action of a strong external signal is uncharacteristic. The alternative mechanism of adaptation is to reduce the phytomass of dominant species without replacing species. In other words, self-regulation (*sensu* [20]) occurs. To reduce the negative effect of late summer drought stress, the consumption of deficient moisture is minimized, and phytocenosis reduces phytomass. With an increase in moisture supply, the previous mode of functioning is restored with intensive production of phytomass. This type of stability manifests itself also through the restoration of background dynamics after short-term deviations. In our case, such deviations under the influence of strong local factors last up to 1–2 months, but the dynamics for 4–5 months does not differ from the background in most tracts.

Finally, adaptation of the phytocenosis to the summer depletion of soil moisture can involve but the replacement of species to maintain phytomass. This is typical for petrophytic communities of stony tops and south-facing slopes, where the activity of *Artemisia* and *Galatella* species increases at the end of summer. Such a partial change in the structure is treated as a self-organization mechanism [20]. The landscape units demonstrate plasticity since they have the ability to switch to another state that maintains the previous intensity of functioning.

Conclusions

1) Holistic phytoproductive functioning of the low-mountain-steppe landscape is most clearly manifested in dry periods, when phytocenoses of convex and concave landforms lose their specificity of functioning.

2) Depending on the location, phytocenoses adapt to the late summer moisture deficit either by transitioning to another stable state of the structure while maintaining the intensity of functioning (self-organization), or by maintaining the structure while reducing the intensity of functioning (self-regulation).

3) Short-term (up to 2 months) deviations of the phytomass dynamics from the background under the influence of strong local factors at longer intervals (4–5 months) are mutually compensated. The dynamics of hydrothermal conditions over the entire growing season manifests itself in a similar way in the territory of the landscape, which proves the connection between the spatial and temporal parameters of landscape organization.

Acknowledgements

The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20–05–00464).

References

- 1 Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки / А.Г. Исаченко. — М.: Академия, 2004. — 400 с.
- 2 Forman R.T.T. Land mosaics / R. Forman. — Cambridge: Cambridge University Press, 2006. — 632 p.
- 3 Пузаченко Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний / Ю.Г. Пузаченко // Вопросы географии. — 1986. — Т. 127. — С. 96–111.

- 4 Shugart H.H. Equilibrium versus non-equilibrium landscapes / H.H. Shugart // Wiens J.A., Moss M.R. (Eds.). *Issues in Landscape Ecology*. — Snowmass Village, Colorado, USA, 1999. — P. 18–21.
- 5 Боков В.А. Пространственно-временные основы геосистемных взаимодействий: дис. ... д-ра геогр. наук / В.А. Боков — М., 1990. — 406 с.
- 6 Delcourt H.R. Dynamic plant ecology: the spectrum of vegetation change in space and time / Delcourt H.R., Delcourt P.A., Webb T. // *Quaternary science review*. — 1983. — Vol. 1. — P. 153–175.
- 7 Титлянова А.А. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / А.А. Титлянова, Н.И. Базилевич, Е.И. Шмакова, В.А. Снытко, С.С. Дубынина, Л.Н. Магомедова, Л.Г. Нефедьева, Н.В. Семенюк, А.А. Тишков, Ти Тран, Ф.И. Хакимзянова, Н.Г. Шатохина, Ч.О. Кыргыз, А.Д. Самбуу. — Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. — 110 с.
- 8 Солнцев Н.А. Природный ландшафт и некоторые его общие закономерности / Н.А. Солнцев // *Тр. II Всесоюз. геогр. съезда*. — Т. I. — М.: Географгиз, 1948. — С. 258–269.
- 9 Dyakonov K.N. Landscape studies in Moscow Lomonosov University: development of scientific domains and education / K.N. Dyakonov // Dyakonov K.N., Kasimov N.S., Khoroshev A.V., Kushlin A.V. (Eds.). *Landscape analysis for sustainable development. Theory and applications of landscape science in Russia*. — Moscow: Alex Publishers, 2007. — P. 11–20.
- 10 Мордкович В.Г. Степные экосистемы / В.Г. Мордкович. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2014. — 170 с.
- 11 Чибилев А.А. Степная Евразия: региональный обзор природного разнообразия / А.А. Чибилев. — М.; Оренбург: Ин-т степи РАН; РГО, 2017. — 324 с.
- 12 Еремеева А.П. Пространственные масштабы проявления факторов дифференциации ландшафтов Буртинской степи (Оренбургье) / А.П. Еремеева // *Вестн. Моск. ун-та, Сер. 5: География*. — 2012. — № 4. — С. 48–53.
- 13 Калмыкова О.Г. Характеристика некоторых степных формаций Буртинской степи (Заповедник «Оренбургский») / О.Г. Калмыкова // *Вестн. Оренбург. гос. ун-та*. — 2015. — № 13 (188). — С. 138–140.
- 14 Dusaeva G.H. Effects of fire on production and destruction processes in steppe phytocenoses of Burtinskaya Steppe, Orenburg Nature Reserve / G.H. Dusaeva, O.G. Kalmykova, N.V. Dusaeva // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2021. — Vol. 9. — 012031.
- 15 Хорошев А.В. Пространственная структура как фактор стабильности биопродукционного функционирования степных геосистем (на примере Айтуарской степи, Южный Урал) / А.В. Хорошев // *Принципы экологии*. — 2020. — Т. 9, № 3. — С. 71–86.
- 16 Хорошев А.В. Ландшафтные условия стабильности фитопродукционного функционирования в Айтуарской степи (Южный Урал) / А.В. Хорошев // *Вестн. Моск. ун-та, Сер. 5: География*. — 2021. — № 2. — С. 82–91.
- 17 Khoroshev A.V. Dynamics of phytoproductive functioning of low-mountain steppe landscapes of the Southern Urals / A.V. Khoroshev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2021. — Vol. 817. — 012046.
- 18 Хорошев А.В. Ландшафтные факторы стабильности динамики фитомассы в заповедных и пастбищных низкогорно-степных ландшафтах Буртинской степи (Южный Урал) / А.В. Хорошев, А.П. Ашихмин, О.Г. Калмыкова, Г.Х. Дусаева // *Динамика и взаимодействие геосфер Земли*. — Т. III. — Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2021. — С. 85–88.
- 19 Гродзинський М.Д. Ландшафтна екологія / М.Д. Гродзинський. — Київ: Знання, 2014. — 550 с.
- 20 Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А.Д. Арманд. — М.: Наука, 1988. — 264 с.

А.В. Хорошев, О.Г. Калмыкова, А.П. Ашихмин

Бөрті даласы (Оңтүстік Жайық) ландшафтының фитопродукциялық жұмыс істеуінің гидротермиялық жағдайлары

Географиялық ландшафты геожүйе ретінде түсіндіру белгілі бір жағдайларда сыртқы сигналдын кеңістіктік элементтерінде ұқсас жауап беретіндігін дәлелдеуді талап етеді. Мақалада гидротермиялық жағдайлардың өзгеруіне Оңтүстік Орал дала ландшафты элементтерінің (Бөрті даласы) реакциясының ұқсастықтары мен айырмашылықтары зерттелген. Қалыпқа келтірілген әр түрлі вегетациялық индекс (NDVI) фитопродукциялық жұмыс істеудің маусым ішіндегі өзгерістігінің индикаторы ретінде пайдаланылған. 2010-2020 жылдардағы вегетациялық кезеңдегі NDVI стандартталған өсінділерінің 110 өлшемі сараланған және фондық модальды мәндермен салыстырғанда динамика түрлері ретінде түсіндіріледі. Шұңқырлардың, жоталардың, су бөлетін беттердің модельдік шатқалдары шегіндегі фитомассалар динамикасының кездесуі мен түрлілігі гидротермиялық жағдайларға және өлшеу мерзімдері арасындағы уақыт аралығының ұзақтығына байланысты өзгереді. Ландшафттың біртүрлі әсер ету тұтастығы құрғақ кезеңдерде күшейеді, бұл кезде шұңқырлар мен жоталардағы фитомассаның өзгеруі басым беткейлер мен тегіс беттердегі өзгерістерден аз ерекшеленеді. Фондық динамикадан қатты ауытқулар 2 айға дейінгі аралықтарда жиі байқалады, бірақ 4–5 ай ішінде өтеледі. Барлық вегетациялық кезеңдегі гидротермиялық жағдайлардың динамикасы ландшафт аумағындағы фитомассаның өзгерістерінен ұқсас көрінеді, бұл

ландшафттық ұйымның кеңістіктік және уақытша параметрлерінің байланысын дәлелдейді. Рельефтегі орналасуына байланысты фитоценоздар жаздың соңында ылғалдың жетіспеушілігіне немесе жұмыс істеу қарқындылығын сақтай отырып (өзін-өзі ұйымдастыру) құрылымның басқа тұрақты күйіне көшу арқылы немесе жұмыс істеу қарқындылығын төмендету арқылы құрылымды сақтау жолымен бейімделеді (өзін-өзі реттеу).

Кілт сөздер: дала, NDVI, фитомассаның динамикасы, ылғалдану, төзімділік, шатқал.

А.В. Хорошев, О.Г. Калмыкова, А.П. Ашихмин

Гидротермические условия изменчивости фитопродукционного функционирования ландшафта Буртинской степи (Южный Урал)

Интерпретация географического ландшафта как геосистемы требует доказательств, что при определенных условиях внешний сигнал имеет сходный отклик в ее пространственных элементах. В статье исследованы сходства и различия реакции элементов степного ландшафта Южного Урала (Буртинская степь) на варьирование гидротермических условий. Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) используется как индикатор внутрисезонной изменчивости фитопродукционного функционирования. 110 измерений стандартизованных приращений NDVI в течение вегетационного периода 2010–2020 гг. ранжированы и интерпретированы как типы динамики в сравнении с фоновыми модальными значениями. Встречаемость и разнообразие типов динамики фитомассы в пределах модельных урочищ лощин, гребней, водораздельных поверхностей варьируют в зависимости от гидротермических условий и длительности временного интервала между сроками измерения. Целостность однотипного реагирования ландшафта усиливается в засушливые периоды, когда изменения фитомассы в лощинах и на гребнях мало отличаются от таковых на преобладающих по площади склонах и плоских поверхностях. Сильные отклонения от фоновой динамики чаще проявляются на интервалах до 2 месяцев, но компенсируются в течение 4–5 месяцев. Динамика гидротермических условий за весь вегетационный период сходным образом проявляется в изменениях фитомассы на территории ландшафта, что доказывает связь пространственных и временных параметров ландшафтной организации. В зависимости от местоположения в рельефе фитоценозы адаптируются к позднелетнему дефициту влаги либо путем перехода в другое устойчивое состояние структуры при сохранении интенсивности функционирования (самоорганизация), либо путем сохранения структуры при уменьшении интенсивности функционирования (саморегулирование).

Ключевые слова: степь, NDVI, динамика фитомассы, увлажнение, устойчивость, урочище, гидротермические условия, местоположения в рельефе, позднелетний дефицит влаги.

References

- 1 Isachenko, A.G. (2004). *Teoriia i metodologiia geograficheskoi nauki [Theory and methodology of geographical science]*. Moscow: Akademiia [in Russian].
- 2 Forman, R.T.T. (2006). *Land mosaics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 3 Puzachenko, Yu.G. (1986). Prostranstvenno-vremennaia ierarkhiia geosistem s pozitsii teorii kolebanii [Spatio-temporal hierarchy of geosystems from the position of the theory of oscillations]. *Voprosy geografii — Issues in Geography*, 127, 96–111 [in Russian].
- 4 Shugart, H.H. (1999). Equilibrium versus non-equilibrium landscapes. Wiens, J.A. & Moss, M.R. (Eds.). *Issues in Landscape Ecology*. Snowmass Village. Colorado, USA, 18–21.
- 5 Bokov, V.A. (1990). Prostranstvenno-vremennnye osnovy geosistemnykh vzaimodeistvii [Spatio-temporal foundations of geosystem interactions]. *Doctoral thesis*. Moscow [in Russian].
- 6 Delcourt, H.R., Delcourt, P.A., & Webb, T. (1983). Dynamic plant ecology: the spectrum of vegetation change in space and time. *Quaternary science review*, 1, 153–175.
- 7 Titianova, A.A., Bazilevich, N.I., Shmakova, E.I., Snytko, V.A., Dubynina, S.S., Magomedova, L.N., Nefed'eva, L.G., Semjenjuk, N.V., Tishkov, A.A., Ti Tran, Hakimzjanova, F.I., Shatohina, N.G., Kyrgys, Ch.O., & Sambuu, A.D. (2018). *Biologicheskaja produktivnost travianykh ekosistem. Geograficheskie zakonomernosti i ekologicheskie osobennosti [Biological productivity of grass ecosystems. Geographic patterns and ecological features]*. Novosibirsk: Institut pochvovedeniia i agrokhimii Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk [in Russian].
- 8 Solntsev, N.A. (1948). Prirodnyi landshaft i nekotorye ego obshchie zakonomernosti [The natural geographic landscape and some of its general rules]. Proceedings of the Second All-Union Geographical Congress, 1, 258–269 [in Russian].
- 9 Dyakonov, K.N. (2007). Landscape studies in Moscow Lomonosov University: development of scientific domains and education. In: Dyakonov, K.N., Kasimov, N.S., Khoroshev, A.V., Kushlin, A.V. (Eds.). *Landscape analysis for sustainable development. Theory and applications of landscape science in Russia*. Moscow: Alex Publishers, 11–20.

- 10 Mordkovich, V.G. (2014). *Stepnye ekosistemy [Steppe ecosystems]*. Novosibirsk: Geo [in Russian].
- 11 Chibilev A.A. (2017). *Stepnaia Evraziia: regionalnyi obzor prirodnogo raznoobraziia [Steppe Eurasia: a regional overview of natural diversity]*. Moscow, Orenburg: Institute of steppe, RGO [in Russian].
- 12 Eremeeva A.P. (2012). Prostranstvennye masshtaby proiavleniia faktorov differentsiatsii landshaftov Burtinskoi stepi (Orenburzh'e) [Spatial scales of manifestation of landscape differentiation factors in the Burtinskaya Steppe (Orenburg Region)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta, Serii 5: Geografiia — Proceedings of Moscow University, Geography 5 series, 4*, 48–53 [in Russian].
- 13 Kalmykova, O.G. (2015). Kharakteristika nekotorykh stepnykh formatsii Burtinskoi stepi (Zapovednik «Orenburgskii») [Characteristics of some steppe formations of the «Burtinskaia steppe» (reserve «Orenburgsky»)]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta — Proceedings of Orenburg State University, 13(188)*, 138–140 [in Russian].
- 14 Dusaeva, G.H., Kalmykova, O.G., & Dusaeva N.V. (2021). Effects of fire on production and destruction processes in steppe phytocenoses of Burtinskaya Steppe, Orenburg Nature Reserve. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 9*, 012031.
- 15 Khoroshev, A.V. (2020). Prostranstvennaia struktura kak faktor stabilnosti bioproduktsionnogo funktsionirovaniia stepnykh geosistem (na primere Aituarskoi stepi, Yuzhnii Ural) [Spatial structure as a factor in the stability of the bioproduktive functioning of steppe geosystems (on the example of the Aituar steppe, South Urals)]. *Printsipy ekologii — Principles of ecology, 9 (3)*, 71–86 [in Russian].
- 16 Khoroshev, A.V. (2021). Landshaftnye usloviia stabilnosti fitoproduktsionnogo funktsionirovaniia v Aituarskoi stepi (Yuzhnii Ural) [Landscape conditions for the stability of phytoproduction functioning in the Aituar steppe (Southern Urals)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta, Serii 5: Geografiia — Proceedings of Moscow University, Geography 5 series, 2*, 82–91 [in Russian].
- 17 Khoroshev, A.V. (2021). Dynamics of phytoproduktive functioning of low-mountain steppe landscapes of the Southern Urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 817*, 012046.
- 18 Khoroshev, A.V., Ashikhmin, A.P., Kalmykova, O.G., & Dusaeva, G.H. (2021). Landshaftnye faktory stabilnosti dinamiki fitomassy v zapovednykh i pastbishchnykh nizkogorno-stepnykh landshaftakh Burtinskoi stepi (Yuzhnyi Ural) [Landscape factors of phytomass dynamics stability in reserved and grazed low-mountain-steppe landscapes of the Burtinskaia Steppe (Southern Urals)]. In: *Dinamika i vzaimodiestvie geosfer Zemli — Dynamics and Interactions of the Earth Geosystems*. Vol III. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo CNTI, 85–88.
- 19 Grodzinsky, M.D. (2014). *Landshaftnaia ekologiia [Landscape Ecology]*. Kiev: Znannia [in Ukrainian].
- 20 Armand, A.D. (1988). *Samoorganizatsiia i samoregulirovanie geograficheskikh system [Self-organization and self-regulation of geographical systems]*. Moscow: Nauka [in Russian].

**К 75-лѣтнему юбилею известного ученого,
доктора медицинских наук, профессора
Карагандинского университета им. акад. Е.А. Букетова
МЕЙРАМОВА ГАБИТА ГАБДУЛЛОВИЧА**

Г.Г. Мейрамов (1947 г.р.) — исследователь-диабетолог. В 1971 г. окончил Карагандинский медицинский институт. Начало его научной работы приходится на 1964 г. Уникальное направление исследований ученого на протяжении более чем 50-летнего периода (1964–2022) — изучение механизмов развития и предотвращения диабета, вызываемого химическими комплексобразующими соединениями, в том числе образующихся в организме человека.

Он автор 176 научных работ, опубликованных в ведущих журналах России, ФРГ, Австралии, Японии, Испании, Англии, Франции, США, Италии, Канады, Швеции, Казахстана, в том числе 54 — в высокорейтинговых цитируемых зарубежных журналах (Thomson Reuters, Scopus).

Являлся приглашенным членом Американской диабетологической ассоциации (США, 1999–2005). В 1988–2011 гг. выезжал с докладами на всемирные, европейские и американские конгрессы диабетологов в Сидней, Москву, Вашингтон, Барселону, Амстердам, Лиссабон, Берлин, Копенгаген, Вену, Франкфурт-на-Майне, Хельсинки, Дюссельдорф, Иннсбрук, Зальцбург, Карлсбург, Гейдельберг, Дубай, а также с докладами по приглашению университетов ФРГ и Австралии. Доклад в Сиднее на Всемирном конгрессе диабетологов (1988) отмечен в числе 50-и премированных из 1200 представленных. В 1979–1995 гг. работал специалистом медицинских производственных объединений ФРГ на организованных В/О «Экспоцентр» (СССР, Москва) 16 Международных медицинских выставках в Москве, Ленинграде и Алма-Ате, что позволило ему обеспечить исследования бесплатными реактивами. Прошел более 10 специализаций по методам исследований, обеспеченных лабораториями Карлсбурга (6), Лейпцига (1), Сиднея (3) и Амстердама (1).

По предложению Министерства здравоохранения Республики Казахстан подготовил Государственную программу «Диабет. 2000–2003», утвержденную 30.06.2000 г. Председателем Правительства К.-Ж.К.Токаевым

Отмечен грантами для исследований, выданными Институтом Диабета, Грейфсвальдским Университетом, ФРГ), немецкими, австралийскими, французскими, австрийскими и американскими научными центрами и фирмами; грантами на поездки на конгрессы в Сиднее, Вашингтоне, Кобе, Копенгагене, Лиссабоне, Барселоне, Вене, Франкфурте-на-Майне, Гейдельберге, Амстердаме, Инсбруке, Дюссельдорфе, Хельсинки.

По результатам научных исследований награжден орденом «Знак Почета» (СССР, Москва, 1986). В г. Сиднее в 1992 г. очно отмечен званием «Почетный член Эндокринологического научного центра Королевского госпиталя Принца Альфреда Сиднейского университета» с выдачей гранта и



личной денежной премии от вице-президента Международной Федерации Диабета (IDF) проф. Дж.Р. Тартл (г. Сидней) и вице-президента IDF Лорны Меллор (г. Сидней).

Г.Г. Мейрамов начинал свою работу в далеком 1964 г. студентом-исследователем, а сегодня он известный ученый, доктор медицинских наук, профессор Карагандинского университета им. академика Е.А. Букетова. Его кандидатская диссертация была защищена через 11 лет после начала исследования (1964–1975), докторская — через 18 лет (1975–1993). Основное кредо ученого в работе и жизни — ТЕРПЕНИЕ И ВРЕМЯ!

Уважаемый Габит Габдуллович! Вы настоящий ученый, дарящий свой талант не только науке, но и молодому, жаждущему знаний поколению. Примите самые искренние поздравления и выражение глубокой признательности за Ваш вклад в развитие науки. Желаем юбиляру долгих лет жизни, крепкого здоровья, уюта, счастья и добра!

С уважением, коллектив биолого-географического факультета

Зимняя школа–2022
«Организация Гербарных фондов
для устойчивого управления биоресурсами»

С 21 по 25 февраля 2022 г. на базе Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина прошла Международная зимняя школа–2022 на тему «Организация Гербарных фондов для устойчивого управления биоресурсами». В ее работе приняли участие ученые, преподаватели и студенты из 19 университетов, 5 научно-исследовательских институтов Казахстана, Армении, Белоруссии, Кыргызстана, России. Работа школа прошла в онлайн режиме.

В рамках Зимней школы рассмотрены проблемы организации гербариев в направлении опыта применения гербарных коллекций в учебно-образовательной деятельности вузов; в научно-исследовательских разработках; оцифровке и создании базы данных гербариев; современные требования к формированию гербарных фондов и сохранению коллекций. Гербарные коллекции — это национальное достояние каждой страны, имеют важное значение в образовательной и научной работе.

Высокую оценку тематике, уровню организации Зимней школы дали директор Кузбасского ботанического сада (РФ), доктор биологических наук, профессор А.Н. Куприянов, заведующая отделом гербария, кандидат биологических наук И.А. Хрусталева. Ученые Института ботаники им. А. Тахтаджяна НАН Республики Армения М.Я. Асатрян, кандидат биологических наук, А.А. Элбакян, кандидат биологических наук, научные сотрудники Отдела систематики и географии высших растений осветили исторические корни создания, сохранения, поддержания Гербарного фонда своего института, показали богатейшую коллекцию растений Кавказского региона.

Директор Ботанического сада Кыргызского национального университета им. Ж. Баласагына кандидат биологических наук У.А. Невераев высказал мысль о том, что на основании анализа материалов, хранящихся в гербариях, появляется возможность для флористического мониторинга «Только здесь можно увидеть изменение флористического разнообразия во времени, выделить те виды, которым грозит уничтожение или проследить агрессию новых видов.

Специалисты Казахстана представили серии докладов на различные темы, охватывающие актуальные проблемы современного состояния гербариев в учреждениях Казахстана. Так, сделали доклады заместитель по научной работе Института ботаники и фитоинтродукции, кандидат биологических наук П.В. Веселова «Опыт применения гербарных коллекций в научно-исследовательской деятельности»; научный сотрудник этого же института Б.Б. Осмонали «Опыт цифровизации и формирования Базы данных гербариев»; заведующий лабораторией флоры и природных ресурсов Астанинского ботанического сада, кандидат биологических наук С.А. Кубентаев доложил информацию «Формирование Гербарного фонда Астанинского ботанического сада».

Очень интересные материалы были освещены в докладах специалистов из университетов: «Гербарные коллекции как база учебно-образовательной деятельности вуза, преимущества факультета биологии и биотехнологии и недостатки» (К.Т. Абидулова, ст. преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов НАО «Казахский национальный университет им. аль-Фараби»); «Флора Улытау и разработка определителя» (М.Ю. Ишмуратова, профессор, кандидат биологических наук, Карагандинский государственный университет им. академика Е.А. Букетова); «Гербарная коллекция кафедры биологии и химии в Костанайском государственном университете им. А. Байтурсынова» (Г.Ж. Султангазина, кандидат биологических наук, Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова). Слушатели ознакомились с тематиками дипломных и диссертационных исследований обучающихся в указанных вузах, с методологическими формами работ.

По специфическим коллекциям грибов и лишайников доложили сотрудники Кемеровского государственного университета «Микологическая коллекция кафедры экологии и природопользования в учебно-образовательной и научно-исследовательской деятельности» (кандидат биологических наук А.В. Филиппова, доцент (Кемеровский государственный университет, РФ), «Бурабай мемлекеттік ұлттық бағындағы қыналар және олардың қоршаған ортаның ластануын анықтаудағы биоиндикациялық маңызы» (Ж.Т. Букабаева, ст. преподаватель «Alikhan Bokeikhan University», г. Семей).

В работе Зимней школы приняли участие коллектив профессорско-преподавательского состава кафедры туризма, природопользования и охотоведения Белорусского государственного технологического университета: заведующая кафедрой, кандидат биологических наук, доцент Я.А. Шапорова; доктор биологических наук, профессор В.М. Каплич, кандидат биологических наук, доцент О.В. Бахур.

На заключительном заседании Зимней школы был представлен доклад о состоянии Гербарного фонда в Казахском агротехническом университете им. С. Сейфуллина. Было отмечено, что сбор материала проводится во время учебных практик по ботаническим дисциплинам, в период проведения экспедиций при реализации научных проектов.

В Резолюции Зимней школы предложено усилить работу по созданию Региональных гербариев в государственных и региональных университетах и на их базе приступить к разработке Региональных определителей растений как основы флористических знаний населения. Итогом работы Зимней школы стало создание площадки для обмена научной информацией, практическими рекомендациями для улучшения использования гербарных коллекций организаций в учебной, научно-исследовательской работе специалистов различного профиля. Участники Зимней школы получили именные сертификаты.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT AUTHORS

- Abdolla Nurshat** — PhD, Senior Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; nurshat777@mail.ru
- Abeldenov Sailau Kasenovich** — PhD, Head of Laboratory of Molecular Biotechnology, National Center for Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan; abeldenov@gmail.com
- Abikenova Fatima Samitovna** — Associate Professor of Department of Pathology, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; abikenova.pf@mail.ru
- Abiyev Sardarbek Abiyevich** — Doctor of Biological Sciences, Professor of Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev street., Nur-Sultan, Kazakhstan; abiyev_sa@enu.kz
- Abukenova Veronica Sergeevna** — Candidate of Biological Science, Docent of Department of Zoology, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; abu-veronika@yandex.ru
- Akhmetova Saule** — Professor of Department of Biomedicine, Karaganda Medical University, Karagandy, Kazakhstan; akhmetova_sb@mail.ru
- Akhvlediani Leila** — Professor, Dean of School of Medicine & Health Sciences, BAU International University, Batumi, Georgia; leila.akhvlediani@bauinternational.edu.ge
- Akinbekova Zhamila Vasikhankyzy** — Master-student, South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan; zhamilaualikhan@mail.ru
- Amirkhanova Zhanerke** — PhD student, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan; janerkeamir@mail.ru
- Amirova Aigul Kuzembayevna** — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of Department of Molecular Biology and Genetics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aigul_amir@mail.ru, aikoamir@mail.ru
- Arystanbay Ayaulym Adylgazykyzy** — Master of Natural Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan; ayaulym_07_07@mail.ru.
- Ashikhmin Alexey Pavlovich** — Master-student, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ashikhmin81@mail.ru
- Asilkhanova Roza Zakirovna** — PhD in Biology, Senior Lecturer, Astana Medical University, Nur-Sultan, Kazakhstan; nauarova@mail.ru
- Aznabayeva Rabiga Baurzhanovna** — Master-student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan; ms.r.e@mail.ru
- Baubekova Aizhan Kenzhebekkyzy** — PhD-student of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan; aizhan_22.02@inbox.ru
- Berdygulova Zhanna Amirovna** — Researcher of Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; berdygulova@gmail.com
- Berkimbay Khorlan Adeshkyzy** — Junior Researcher of Department of Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Plant Biology and Biotechnology, PhD-student of Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; b.horlan@bk.ru
- Bitemirova Aliya Erkegulovna** — PhD, Associate Professor, South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan; bitemirova1960@mail.ru

- Bituykova Victoriya Raculovna** — Doctor of Geographical Science, Professor of Faculty of Geography, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; bituykova@yandex.ru
- Bodeeva Rakhat** — Associate Professor of Department of Physiology, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan; rahat-karaganda@mail.ru
- Butumbayeva Madina Kaibekovna** — Master of Biology, PhD-student of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; madina_butumbaeva@mail.ru
- Chistyakova Galina Nikolaevna** — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Department of Geography, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; shi_gal_nik_@mail.ru
- Dekhnich Vladimir Sergeevich** — Candidate of Geographical Science, Kazakhstan Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University, Nur-Sultan, Kazakhstan; vodo.ast@gmail.com
- Diusembaeva Nailya Kamashevna** — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of Department of Clinical Pharmacology and Evidence-Based Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; N.Dyusembaeva@qmu.kz
- Dosmakhov Sagidolla Mukhtarovich** — Senior Lecturer of Department of Geography, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; abu-sagidolla@mail.ru
- Dronin Nikolay Mikhailovich** — Candidate of Geographical Science, Head of Laboratory of Natural Resources and Man-made Changes in the Natural Environment, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; andronin@gmail.com
- Fedorov Andrey Alexeevich** — Director of the LLP Scientific-Production Association "Fauna", Almaty, Kazakhstan; a_feod@mail.ru
- Gavrilkova Elena Anatol'evna** — Master of Biology, Senior Lecturer of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; elena_2809@mail.ru
- Jamalova Gulchehra Tagaevna** — Candidate of Biological Sciences, Teacher of Additional Education in the Chemical and Biological Direction of Nazarbayev Intellectual School, Shymkent, Kazakhstan; jamgull14@gmail.com
- Kali Almagul Kaliyevna** — Candidate of Biological Science, Head of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; a-aelbekova@mail.ru
- Kalieva Sholpan Sabataevna** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Clinical Pharmacology and Evidence-based Medicine of Medical University of Karaganda, Karaganda, Kazakhstan; S-Kalieva@qmu.kz
- Kalmykova Olga Gennadjevna** — Candidate of Biological Science, Senior Researcher of Laboratory of Biogeography and Monitoring of Biodiversity, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Science, Orenburg, Russia; okstepposa@gmail.com
- Kazkeev Dauren Tabyldaevich** — PhD, Lecturer of Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; dauren.kazkeyev@gmail.com
- Keishilov Zhenis Sovetkanovich** — Master of Agricultural Sciences, Junior Researcher of Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; Jeka-Sayko@mail.ru
- Khoroshev Alexey Vladimirovich** — Candidate of Geographical Science, Docent of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; avkh1970@yandex.ru
- Klunnaya Valeriya Olegovna** — Master of Humanity, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; valeria.klunnaya42@gmail.com
- Kohnert Klaus-Dieter** — Doctor of Medical Science, Professor, Director of Science at the Gerhardt Kutch Central Diabetes Institute, Karlsburg, Germany; info@diabetes-karlsburg.de
- Kokhmetova Alma Myrzabekovna** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Laboratory of Genetics and Selection of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, Professor of Department of Agronomy, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; gen_kalma@mail.ru
- Korchin Vladimir Ivanovich** — Doctor of Medical Sciences, Professor of Department of Pathological Physiology of Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia; vikhngmi@mail.ru

- Kozhakhmetov Samat Serikovich** — Candidate of Biological Science, Professor, Laboratory of Human Microbiome and Longevity, Center for Life Sciences, «National Laboratory Astana», Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan; skozhakhmetov@nu.edu.kz
- Kozhakhmetova Laila Talgatovna** — Master of Ecology, Senior Lecturer of Department of Geography, Karaganda University of the name of academician E.A. Buketov Kazakhstan; Laila1079@mail.ru
- Kuatbekova Saltanat** — Junior Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; kuatbek9205@gmail.com
- Kulmaganbetova Aigul Oralovna** — Master of Natural Science, PhD-student of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; aigulek_21_73@mail.ru
- Kumarbayeva Madina Talgarovna** — PhD- student, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; madina_kumar90@mail.ru
- Kushugulova Almagul** — Doctor of Medical Science, Professor, Head of Laboratory of Human Microbiome and Longevity, Center for Life Sciences, «National Laboratory Astana», Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan; akushugulova@nu.edu.kz
- Laryushina Yelena Mikhailovna** — Candidate of Medical Science, Head of Department of Internal Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; laryushina@qmu.kz
- Madiyeva Aida Narimanovna** — PhD-student, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: madiyevaaida@mail.ru
- Maltseva Elina Romanovna** — Senior Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; elina_m@inbox.ru
- Mamadaliyev Seidigappar Mamadalievich** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; mamadaliyev.s@bk.ru
- Mashzhan Akzhigit** — Master of Biology, Lecturer of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; aj.akzhigit@gmail.com
- Meyramov Gabit Gabdullovich** — Doctor of Medical Science, Professor of Department of Zoology, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; meyradow@mail.ru
- Meyramova Aizhan Gabitovna** — Candidate of Medical Science, Senior Lecturer, “Bolashaq” Academy, Karaganda, Kazakhstan; aizhan.meyramova@mail.ru
- Miasnikova Zhanna Vladimirovna** — Research Assistant of Department of Clinical Pharmacology and Evidence-based Medicine of Medical University of Karaganda, Karaganda, Kazakhstan, MyasnikovaZ@qmu.kz
- Musina Rosa Tletaevna** — Master of Ecology, Senior Researcher of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; rosanna_1983@mail.ru
- Mamykova Roza Ubaidyalayevna** — PhD, Acting Associate Professor, South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan; roza.mamykova@mail.ru
- Naizabayeva Dinara Adamshankyzy** — Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; dinara.naizabaeva@gmail.com
- Nizkorodova Anna Sergeevna** — PhD, Lead Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; cool.niz@yandex.ru
- Nortseva Marina Anatol'evna** — Senior Lecturer of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; nor_marina@mail.ru
- Orynbay Zhuldyz Erbolkyzy** — Master-student, South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan; zhuldiz.orynbaeva@inbox.ru
- Ostapchuk Yekaterina Olegovna** — PhD, Leading Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; katyostapchuk@gmail.com
- Parakhina Viktoriya** — PhD student of Medical Science, Department of Internal Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; vfparakhina@gmail.com
- Perfilyeva Yuliya Viktorovna** — PhD, Leading Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; ulya2005@mail.ru

- Polivkina Yelena Nikolayevna** — Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory of Radiological Research, Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan; polivkina@nnc.kz
- Ponamareva Olga** — Candidate of Medical Science, Department of Biochemistry, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; ponamareva@qmu.kz
- Rsaliyev Shynbolat Syrashovich** — Doctor of Biological Sciences, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Head of the Department of Grain and Forage Crops, Almaty, Kazakhstan; shynbolat63@mail.ru
- Rsaliyev Shynbolat Syrashovich** — Doctor of Biological Sciences, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Head of the Department of Grain and Forage Crops, Almaty, Kazakhstan; shynbolat63@mail.ru
- Salykbayeva Galiya Manapovna** — Master of Natural Sciences, Senior Lecturer of Department of Ecology and Geography, S. Amanzholov East Kazakhstan University Kazakhstan; salgal2010@mail.ru
- Sartbayeva Innabat Abibullakzy** — PhD, Researcher of Department of Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; innabat-sa@mail.ru
- Shaybek Altinay Zhuparovna** — PhD, Head of Department of Zoology, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; altu_ekosya@mail.ru
- Silanteva Marina Mikhailovna** — Doctor of Biological Science, Professor, Dean of Biological Faculty, Altai State University, Barnaul, Russia; msilan@mail.ru
- Skiba Yuriy Alexandrovich** — PhD, Deputy Head of Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; yuriy.skiba@gmail.com
- Subbotina Liliya Fyodorovna** — Bachelor, Engineer of Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan; subbotina@nnc.kz
- Tleukenova Saltanat Ushkempirovna** — Candidate of Biological Science, Associate Professor of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Kazakhstan; damir—6@mail.ru
- Turgimbayeva Aigerim Makashkyzy** — Master of Science in Engineering, Researcher, National Center for Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan; turgimbayeva@gmail.com
- Turlybekova Gul'zhazira Kantarbaevna** — Candidate of Biological Science, Docent of Department of Zoology, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; gulzhazira_t@mail.ru.
- Tyrzhanova Sayagul Serikovna** — PhD-student of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Kazakhstan; tssaya@mail.ru
- Ualiyeva Rimma Meiramovna** — PhD, Associate Professor of Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; ualiyeva.r@gmail.com
- Usenbekov Bakdaulet Naubaevich** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Department of Molecular Biology and Genetics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; bakdaulet7@yandex.ru
- Yeszhanov Aidyn Baurzhanovich** — Head of Laboratory of Arachnology and Other Invertebrates, Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan; aidyn.eszhanov@gmail.com
- Yukhnevich Yekaterina Aleksandrovna** — PhD, Associate Professor of Department of Clinical Pharmacology and Evidence-Based Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan; yukhnevich@qmu.kz
- Zein Ulan O.** — Master of Science in Biology, Junior Researcher, National Center for Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan; zeinulan1@gmail.com
- Zhaisankulova Ulzhan Boranbayevna** — Master-Student of Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; uljan.94_30@mail.ru
- Zhamaldinov Fail Fergatovich** — Master of Physic, Head of Laboratory of Nuclear-Physical Research, Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan; zhamaldinov@nnc.kz
- Zhanbyrbaev Yeldos Almabekovich** — PhD, Lecturer of Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; eldos_83@mail.ru

Zhanuzak Danna Komekkyzy — Master of Technical Sciences, Junior Researcher, Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; dolphin_969@mail.ru

Zhigailov Andrey Viktorovich — PhD, Lead Researcher in Almaty Branch of the National Center for Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; andrzhig@gmail.com

Zhumina Assel Galimovna — PhD, Associate Professor of Department of Botany, Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; asbiol@list.ru