

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ
BULLETIN **ВЕСТНИК**
of L.N. Gumilyov Евразийского национального
Eurasian National University университета имени Л.Н. Гумилева

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

BIOSCIENCE Series

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 1(142)/2023

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2023

Astana, 2023

Астана, 2023

Бас редакторы Р.І. Берсімбай
ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары Ж.К. Масалимов
б.ғ.к., доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы

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

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: eurjournal@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Бекбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

02.02.2021ж. № KZ11VPY00031938 қайта есепке қою туралы куәлігі

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

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

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief **R.I. Bersimbaev**
Academician of NAS RK, Doctor of Biological Sciences, Prof.,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief: **Zh.K. Masalimov**, *Candidate of Biological Sciences, Associate professor,*
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board

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

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

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

Responsible secretary, computer layout: Aliya Bekbayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

BIOSCIENCE Series

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

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ11VPY00031938 from 02.02.2021

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

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

Главный редактор **Р.И. Берсимбай**
профессор, д.б.н., академик НАН РК, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Зам. главного редактора **Ж.К. Масалимов**
к.б.н., доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

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

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

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Бекбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ11VPY00031938 от 02.02.2021г.

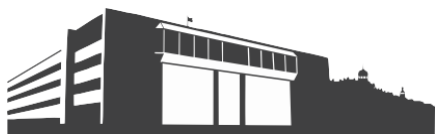
Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

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

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- Камкин В.А., Шалабаев Б.А., Камарова А.Н.* Қазақстанның солтүстік-шығысында жіңішке жапырақты күреңот өсіру және өндіру перспективалары
Kamkin V.A., Shalabaev B.A., Katarova A.N. Prospects of cultivation and production of fireweed in the north-east of Kazakhstan
Камкин В.А., Шалабаев Б.А., Камарова А.Н. Перспективы возделывания и производства кипрея узколистного на северо-востоке Казахстана 6
- Айымбай М.Ж., Жанасова К.Е., Акбасова А.Ж., Жангазин С.Б., Ауғанова Д.Н., Бейсекова М.К., Курманбаева А.Б.* Тұздылық стресіне өсімдіктердің жауап беру механизмдері
Aiyymbay M.Zh., Zhanassova K.Ye., Akbassova A.Zh., Zhangazin S.B., Auganova D.N., Beissekova M.K., Kurmanbayeva A.B. Mechanisms of plant responses to salinity stress
Айымбай М.Ж., Жанасова К.Е., Акбасова А.Ж., Жангазин С.Б., Ауғанова Д.Н., Бейсекова М.К., Курманбаева А.Б. Механизмы ответа растений на солевой стресс 17
- Кайрова Г.Н., Сапахова З.Б., Дәулет Н., Абсатарова Д.* Бағбандықтың негізгі өнеркәсіптік аймағында (Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-шығысы) алма ағашының әртүрлі сорттарында бактериялық күйіктің таралуы
Kairova G.N., Sapakhova Z.B., Daulet N., Absatarova D. The fire blight prevalence on different varieties of apple trees in the main industrial zone of horticulture (south and south-east of Kazakhstan)
Кайрова Г.Н., Сапахова З.Б., Дәулет Н., Абсатарова Д. Распространенность бактериального ожога на различных сортах яблони в основной промышленной зоне садоводства (юг и юго-восток Казахстана) 31
- Темрешев И.И., Копжасаров Б.К., Бекназарова З.Б., Сарбасова А.М., Жанбатыров А.Ш.* Өрмекшітәрізділерді (Arachnida) зерттеу – Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы алма бактары қабыршаққанатты зиянкестерінің энтомофагтары
Temreshov I.I., Kopzhasarov B.K., Beknazarova Z.B., Sarbasova A.M., Dzhanbatyrov A.Sh. To the study of arachnids (Arachnida) – entomophages of lepidoptera pests of apple trees in the south-east of Kazakhstan
Темрешев И.И., Копжасаров Б.К., Бекназарова З.Б., Сарбасова А.М., Жанбатыров А.Ш. К изучению паукообразных (Arachnida) – энтомофагов чешуекрылых вредителей яблони юго-востока Казахстана 41
- Әдиш Ж.Б., Нуртлеу М., Турсунов Қ.А., Мұқантәев Қ.Н., Раманқұлов Е.М., Мұқанов Қ.Қ.* rCTLA-4 ақуызна моноклоналды антиденелердің иммунохимиялық қасиеттерін зерттеу және алу
Adish Zh.B., Nurtleu M., Tursunov K.A., Mukantayev K.N., Ramankulov Y.M., Mukanov K.K. Obtaining and investigating immunochemical properties of monoclonal antibodies against rCTLA-4 protein
Әдиш Ж.Б., Нуртлеу М., Турсунов Қ.А., Мұқантәев Қ.Н., Раманқұлов Е.М., Мұқанов Қ.Қ. Получение и исследование иммунохимических свойств моноклональных антител к белку rCTLA-4 57
- Иващенко А.А., Стихарева Т.Н., Абидкулова К.Т., Кириллов В.Ю., Рахимжанов А.Н.* Іле-Балқаш өңірінің тоғайлы ормандары мен іргелес шөлдері флорасына қосымша
Ivashchenko A.A., Stikharava T.N., Abidkulova K.T., Kirillov V.Yu., Rakhimzhanov A.N. Supplement to the flora of tugai forests and adjacent deserts of the Ile-Balkhash region
Иващенко А.А., Стихарева Т.Н., Абидкулова К.Т., Кириллов В.Ю., Рахимжанов А.Н. Дополнение к флоре тугайных лесов и прилегающих пустынь Иле-Балхашского региона 68
- Амангелді А.Ж., Булгакова О.В.* Бронх демікпесімен FCER1B, FCER2 және ADAM33 гендері полиморфизмі ассоциациясына мета-анализ
Amangeldi A.Zh., Bulgakova O.V. Meta-Analysis of the association of FCER1B, FCER2, and ADAM33 gene polymorphisms with asthma
Амангелды А.Ж., Булгакова О.В. Мета-анализ ассоциации полиморфизмов генов FCER1B, FCER2 и ADAM33 с бронхиальной астмой 90
- Антитов С.С., Преображенская Е.В.* Көпфункционалды гомоолигомерлердің парадоксы: оларды оқшаулау әдістері және функционалды белсенділікті реттеу механизмдері
Antitov S.S., Preobrazhenskaya E.V. The paradox of multifunctional homo-oligomers: methods of their localization and mechanisms of regulation of functional activity
Антитов С.С., Преображенская Е.В. Парадокс многофункциональных гомоолигомеров: способы их локализации и механизмы регуляции функциональной активности 103
- Сарсенова А.Н., Абиев С.А., Дарбаева Т.Е.* Жайық өзені аңғары қара теректі орманды алқабының макромицеттер алуантүрлілігі
Sarsenova A.N., Abiev S.A., Darbayeva T.E. Diversity of macromycetes in the black poplar forests of the Ural river valley
Сарсенова А.Н., Абиев С.А., Дарбаева Т.Е. Разнообразие макромицетов в чернотопольевых лесах долины реки Урал 111
- Мусаева Э.М., Бахтин М.М.* Уран кенін өндіретін аймақтарда “топырақ-өсімдік” тізбегіндегі радионуклидтердің миграциясына баға беру (әдеби шолу)
Mussayeva E.M., Bakhtin M.M. Assessment of radionuclides in the "soil-plant" chain of uranium mining regions (literature review)
Мусаева Э.М., Бахтин М.М. Оценка миграции радионуклидов в цепи «почва-растение» уранодобывающих регионов (литературный обзор) 124



В.А. Камкин, Б.А. Шалабаев, А.Н. Камарова*

Торайғыров университет, Павлодар, Қазақстан

*Автор для корреспонденции: aidanakamarova2@gmail.com

Перспективы возделывания и производства кипрея узколистного на северо-востоке Казахстана

Аннотация. Статья посвящена изучению перспектив возделывания и производства кипрея узколистного на северо-востоке Казахстана. На основании анализа литературных источников получены данные о химическом составе кипрея узколистного, имеющего богатый химический состав и отличные вкусо-ароматические свойства. Широкий спектр полезных свойств кипрея узколистного находит свое применение в пищевых технологиях. В статье дается описание морфолого-биологических и экологических особенностей местных популяций кипрея узколистного. Представлены результаты интродукции кипрея узколистного с целью изучения эффективных методов летних и осенних посевов и посадок в условиях Железинского района Павлодарской области. Изучены особенности фенологии и морфологии растений в зависимости от сроков и способов посева и посадки. На основании результатов исследований выявлены оптимальные приемы агротехники выращивания кипрея узколистного в условиях северо-востока Казахстана. Предложены адаптированные к местным условиям технологии заготовки и переработки растительного сырья в фиточай. На основании анализа продуктивности естественных популяций кипрея узколистного, эффективности его интродукции в культуру и рыночной конъюнктуры показана экономическая перспективность производства иван-чая на основе местного дикорастущего и культивируемого растительного сырья.

Ключевые слова: кипрей узколистный, иван-чай, *Chamaenerion Seg.*, агротехника, фиточай.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-6-16

Введение

В настоящее время актуальна тема использования и переработки лекарственного растительного сырья, популярность набирают экологически чистые продукты, например, напитки функционального назначения – фиточаи. Сегодня, в период пандемии COVID-19, это особенно актуально, т.к. пристальное внимание уделяется поддержанию и укреплению иммунитета, а также реабилитации после перенесенного заболевания. Как известно, чай (черный, зеленый, травяной) является одним из самых распространенных напитков. Однако употребление крепкого чая не всем доступно по медицинским показаниям, к тому же не каждая марка чая отвечает всем необходимым требованиям пищевой ценности и безопасности. В связи с этим возникает необходимость в производстве фиточаев из экологически чистого сырья, с наибольшим содержанием биологически активных соединений.

Основными критериями для отбора растительного сырья являются: высокое содержание биологически активных веществ, доступность сырья в природе, несложная технология его культивирования.

Согласно проведенному анализу флоры лекарственных растений северо-востока Казахстана,

выявлено наиболее перспективное растение, отвечающее всем вышеизложенным требованиям – кипрей узколистный. Проведенные маршрутные исследования показали значительные природные запасы данного растения на территории Железинского, Баянаульского, Щербактинского и Качирского районов Павлодарской области. Главным лимитирующим фактором для практического использования имеющегося ресурсного потенциала кипрея в регионе является отсутствие опыта его возделывания, заготовки и переработки у местных жителей и сельскохозяйственных производителей.

Для установления оптимальных приёмов агротехники в условиях Железинского района Павлодарской области были заложены экспериментальные площадки по выращиванию кипрея узколистного.

Целью исследования являлось изучение перспектив возделывания и производства кипрея узколистного на северо-востоке Казахстана.

Материалы и методы исследования

Исследования интродукционного потенциала лекарственных растений на территории Железинского района Павлодарской области выполнены в рамках инициативно-поисковой НИР в сотрудничестве с КХ «Асыллов». Были заложены пробные экспериментальные площадки по изучению эффективных методов летних и осенних посевов и посадок кипрея узколистного в условиях Железинского района Павлодарской области.

Для проведения полевого опыта по интродукции кипрея узколистного в августе 2020 и 2021 годов был организован сбор семян кипрея на местах его естественного произрастания. Перед посевом кипрея проводили огневую культивацию для уничтожения сорной растительности. Изучались способы посева неочищенными семенами и дражированными неочищенными семенами. Для посева неочищенными семенами осуществлялся ручной высев собранных семян кипрея по выжженному участку с плотностью посева 1000–1200 семян на м². Для дражирования использовалась жидкая смесь семян кипрея и биочара с местным суглинком в соотношении 1 : 1 с последующим разбрызгиванием смеси из движущегося прицепа при одновременном поливе из автобочки с соблюдением той же плотности посева в 1000–1200 семян/м².

С целью изучения вегетативного размножения кипрея узколистного в сентябре 2020 года были заготовлены и высажены отрезки корневищ кипрея длиной 30–45 см, содержащие 4–7 почек. Корневища высаживались в бороздки глубиной 2–2,5 см по ранее выжженному участку с междурядьями 35–40 см. Сверху бороздки присыпались порошком биочара толщиной слоя 3–5 мм. Эксперимент был повторен в сентябре 2021 года по той же схеме.

Результаты

Кипрей узколистный (*Chamaenerion Seg.*, Иван-чай) – многолетнее, травянистое, корнеотпрысково-стержнекорневое лекарственное растение, принадлежащее к семейству *Onagraceae*. Данное растение может расти практически везде. Предпочитает свежие лёгкие почвы, умеренный климат и хорошо освещенные места, к плодородию почв не требователен. Встречается по горным склонам, лесам, залежам, вырубкам и гарям всего Казахстана кроме пустынь. В Павлодарской области встречается повсеместно на лесных гарях и опушках колковых лесов, но наибольшего обилия достигает в Железинском районе, где при произрастании на луговых степях отличается невысоким ростом (90–110 см) и более мелкими листьями (5–10 см). Зацветает и в июне, плодоносит с начала июля. Урожайность листьев 0,5–0,7 кг / м² в свежем виде.

В подлеске зарастающих гарей в условиях большего увлажнения высота достигает 160–170 см, длина листьев 15–20 см. Урожайность 1,5–2,0 кг / м² листьев в свежем виде. Зацветает в конце июня, плодоносит в конце июня – начале августа.

Размножается как семенным, так и вегетативным путем. Оценка успешности интродукции и перспективности в культуре проведена на основе балльной шкалы по комплексу биолого-хозяйственных признаков, предложенных Р.А. Карпионовой (1978) [1] и дополненной Л.И. Томиловой (1982) [2]. Сбор сырья осуществляется с мая по август.

Из кипрея узколистного готовят напиток – иван-чай (капорский чай). Целебные свойства данного напитка известны давно, издревле иван-чай применяли в народной медицине, в России в XIX веке иван-чай производили в больших количествах и импортировали в другие страны. По имеющимся данным, иван-чай применяется как антиоксидантное, общеукрепляющее, противовоспалительное, ранозаживляющее, кроворазжижающее, поливитаминное, противохолерическое средство, а также применяется при бессоннице, головных болях, неврозах, анемии, нарушениях обмена веществ и онкологических заболеваниях. В своих исследованиях Л.Д. Шипулина, О.П. Шейченко и др., изучив галлоэллаготаннины иван-чая, обнаружили их высокую противовирусную и умеренную противомикробную активность, а также выраженное противоопухолевое действие на организм [3]. В настоящее время интерес к почти забытому напитку возродился благодаря его уникальному химическому составу, к тому же особую ценность кипрей узколистный приобретает благодаря наличию в его составе алкалоидов, способных улучшать обмен веществ, кровообращение, состояние нервной системы, являясь обезболивающим средством. Отсутствие в нем кофеина расширяет область его применения среди самых разных возрастных категорий, включая больных с артериальной гипертензией, потому как кофеин способствует сужению сосудов и уменьшению риска возникновения тромбоза [4].

В производстве возможно использование практически всего растения, т.к. у *Chamaenerion Seg.* все органы (как генеративные, так и вегетативные) обладают лечебными или пищевыми свойствами. Наибольший интерес представляет надземная часть кипрея узколистного, т.к. имеются особенности в химическом составе именно этой части растения. Согласно результатам, полученным Р. И. Валовым: «содержание белков в надземной части растения находится в количестве 12,2–16,4 %, слизи (полисахариды, которые легко гидролизуются) – 8,8–19,4 %, клетчатка – 13,1–26,0 %, дубильные соединения – 6,1–10,1 %, антоцианы – 1,0–1,8 %, лигнин – 8,7–13,8 %, хлорофилл *a* – 5,1–8,0 мг/л, хлорофилл *b* – 9,3–13,6 мг/л, каротин – 3,6–7,6 мг %, рутин – 16027,72 мг %, витамин С – 56,4–225,1 мг %» [5]. Биомасса кипрея узколистного имеет достаточно богатый элементный состав, Р. И. Валовым и др. также был исследован качественный состав и количественное содержание химических элементов в траве *Chamaenerion Seg.* В работе [6] было установлено «наличие 61 элемента в наземной части растения: Na, Mg, P, K, Si, Br, Li, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ca, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Au, Be, Ge, As, Y, Nb, Pr, Sm.». Помимо этого, растение богато магнием, молибденом (0,44 мг), бором (6 мг), калием, никелем (1,3 мг), литием, кальцием, титаном (1,3 мг), натрием и иными элементами. В надземной части растения содержится большое количество витаминов, особенно много витамина С, его содержание выше в 3 раза по сравнению с цитрусовыми плодами. Разные части *Chamaenerion Seg.* содержат эфирные масла, среди которых лимонен, эвгенол, бензальдегид, фелландрен, 3-гексен-1-ол, камфен, линалоол и другие [7].

Согласно данным И. В. Полежаевой и др., в вегетативной части растения обнаружено 16 аминокислот, шесть из которых незаменимы. 100 г сухого сырья кипрея узколистного покрывает от 5 до 10 % суточной потребности для взрослого человека в незаменимых аминокислотах [8].

Кипрей узколистный является одним из важнейших медоносов среди дикорастущих растений [4]. В средней полосе сбор меда с 1 га в различные годы колеблется от 350–400 кг до 500–600 кг, а в переводе на сахар – 250–300 кг [9, 10]. Мед иван-чая зеленоватый, очень сладкий, обладает приятным запахом [11, 12].

Кипрей обладает целым рядом хозяйственно-ценных признаков, в связи с этим представляет интерес для кормопроизводства [13], используется как в виде зеленой массы, так и

для приготовления силоса [14, 15]. Имеет хорошее сахаропротеиновое отношение и является хорошо силосуемым растением в чистом виде [16, 17].

Кипрей узколистный используется в пищевой промышленности в качестве подсластителя в желе, сиропах и мороженом. Из высушенных корней делают муку для выпечки диабетического хлеба и кофе [18].

Размножается кипрей узколистный как семенным, так и вегетативным путем. Семена кипрея очень мелкие, масса 1000 семян его составляет 0,048 г., в то же время он имеет высокую семенную продуктивность. Одно растение при различных условиях дает от 4000 до 49140 семян [19]. Свежеубранные семена кипрея имеют достаточно высокие показатели всхожести, которая достигает от 97 до 99 %. В наших исследованиях она составила 96,4 %.

Однако семенной способ его размножения в условиях производства трудно осуществим, главным образом из-за исключительно мелких семян кипрея, которые способны прорасти только с поверхности почвы, в результате чего наблюдается массовая или полная гибель проростков при малейшем их подсыхании. У кипрея прорастают лишь семена, находящиеся на поверхности почвы в условиях хорошего постоянного увлажнения. Малейший недостаток влаги ведет к быстрому высыханию и гибели проростков, корешки которых в этот период представляют собой одноклеточные удлиненные волоски. Мелкие семена кипрея узколистного являются одной из основных причин высокой требовательности этого растения к условиям прорастания.

Результаты интродукции кипрея узколистного показали, что в условиях Железинского района семена кипрея дали дружные всходы на 7 день после посева (Таблица 1). Приживаемость всходов составила у семенного способа посева 80,0 %, у дражированного способа посева – 73,5 %. Хорошей приживаемости и появлению дружных всходов способствовали обильные дожди, прошедшие после посева. Следует отметить, что приживаемость семян, оказавшихся на минерализованной полосе, которая не подверглась действию огня при огневой обработке участка составила только 18 %, что свидетельствует о стимулирующем действии зольных элементов на начальные этапы жизни растений кипрея.

Развитие всходов шло достаточно медленно, и первые настоящие листочки появились на 8–12 день от момента их появления. Длина главного корня у различных способов посева составила 6 см, а боковые корни варьировали длиной от 3,5 см у семенного способа посева до 2,8 см у дражированного способа посева. Средняя длина всходов от первого настоящего листа у первого способа посева составила – 5,0 мм, у второго способа посева – 4,0 мм. После образования первых 2–4 пар настоящих листьев, средняя высота всходов составила у семенного способа посева – 1,7 см, у дражированных семян – 1,5 см. В летний период был произведен замер высоты растения на опытном участке, которая составила у семенного способа посева – 15 см, у дражированного способа посева – 13 см.

Таблица 1

**Развитие кипрея узколистного в 1-год жизни
при различных способах посева**

Способ посева	Средняя приживаемость в %.	Длина боковых корней, см.		Средняя длина всходов		Средняя высота стеблей, см	
		в начале 1- года жизни	в конце 1- года жизни	от первого настоящего листа	2-4 пар настоящих листьев	Первой декады июня	Во второй декаде сентября
семена	80,0	3,5	14,0	5,0	1,7	15	26
дражированные семена	73,5	2,8	9,0	4,0	1,5	13	22

Выкопка всходов, проведенная в конце августа, показала, что у растений первого года жизни идет в основном формирование корневой системы и закладка почек возобновления. Корень в третьей декаде августа разрастается на глубине 9–14 см, в основном в горизонтальном направлении и растет преимущественно в одном направлении. Во второй декаде сентября высота стеблей кипрея у семенного способа посева составила 26 см, у дражированного способа посева – 22 см, образования соцветий не наблюдалось.

Таким образом, по результатам полученных данных в ходе эксперимента наилучший способ посева семян кипрея узколистного является посев неочищенными недражированными семенами. Приживаемость семян составила 80,0 %. Длина боковых корней: 3,5 см 1 год жизни и 14,0 см в конце 1-го года жизни. Средняя высота растения составила 26 см.

Как известно, кипрей относится к корнеотпрысковым растениям. Органами его вегетативного размножения являются корневые отпрыски, представляющие собой видоизмененные корни с почками, располагающиеся на глубине от 3,0 до 20,0 см. От корневых отпрысков, разрастающихся преимущественно в горизонтальном направлении, и происходит в основном его вегетативное размножение.

При подзимней посадке всходы весной появляются на две-три недели раньше по сравнению с весенней посадкой. Наблюдения, проведенные за прохождением фаз развития, показали (Таблица 2), что растения осеннего срока посадки опережали в своем развитии растения весенней посадки.

Таблица 2

Фенологические особенности кипрея при различных сроках посадки

Сроки посадки	Дата посадки	Появление всходов	Рост и развитие побегов зеленая «елочка»	Бутонизация	Цветение	Созревание семян
Осенний	10.09	01.05	01.06	28.06	11.07	15.08
Весенний	15.05	10.06	09.07	-	-	-

Это связано с тем, что при подзимней посадке создаются наилучшие условия для укоренения корневищ, и весной корневища, используя большой запас влаги, сразу после схода снега, быстро прорастают и дают дружные всходы. У растений весеннего срока посадки в середине первой декады июля сформировались надземные побеги. По качественным признакам и биометрическим показателям в первый год жизни растения весеннего срока посадки находились в виргинильном состоянии, имели типичные для данной жизненной формы черты, но к цветению не приступили. В августе-сентябре отмечался интенсивный рост придаточных корней, на которых закладывались многочисленные придаточные почки возобновления. У осеннего срока посадки на второй год жизни уже отмечается наступление генеративных фаз: бутонизация, цветения и созревание семян.

Морфометрический анализ разновозрастных растений кипрея узколистного дал следующие результаты (Таблица 3).

Таблица 3

Морфометрическая характеристика растений кипрея узколистного

Сроки посадки	Всего прижилось черенков, %	Ширина листа, см.	Длина листа, см	Длина соцветия, см	Число семян в коробочке, шт.	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см
Осенний	84,5	1,8	10,4	15–35	4500	0,043	73,5
Весенний	65,7	0,9	6	-	-	-	50,0

При осенней посадке в конце сентября приживаемость черенков была наиболее высокой, не ниже 84,5 %, при весеннем сроке посадки приживаемость черенков составила 65,7 %. Средняя высота растений, сформировавшихся в первый год жизни, в вариантах опыта была 50,0 см. Высота растений, сформировавшихся во второй год жизни, при осеннем сроке посадки составила 73,5 см (прибавка 23,5 см) соответственно. Наибольшая длина и ширина листьев отмечена при осеннем сроке посадки 10,4–1,8 см. При весенней посадке в 1 год жизни растения фаза бутонизации не отмечается, естественно, соцветия в первый год жизни не формируются. При осеннем сроке посадки на второй год жизни уже формируется соцветия, длина которого составила от 15 до 35 см. Число семян в коробочке 4500 шт, при массе 1000 семян – 0,043 г.

Таким образом, лучшим сроком посадки кипрея является осенний. По результатам наблюдения, за прохождением фаз развития показали, что растения осеннего срока посадки опережали в своем развитии растения весенней посадки. Это связано с тем, что при подзимней посадке создаются наилучшие условия для укоренения корневищ, и весной корневища, используя большой запас влаги, сразу после схода снега, быстро прорастают и дают дружные всходы, соцветия образуются уже на второй год жизни. По показателям приживаемости (84,5 %) и высоты растений 73,5 см (прибавка 23,5 см), соответственно, так же наилучший результат наблюдался при осеннем сроке посадки.

Технология производства иван-чая. Технологический процесс производства иван-чая из кипрея узколистного довольно прост и состоит из следующих этапов: сбор сырья, подвяливание листьев, скручивание, ферментация, выпекание и досушивание на воздухе. Лучшее время заготовки листьев – до начала цветения. В июне листья заготавливаются в условиях луговых степей, а в подлеске восстанавливающихся лесных гарей заготовка возможна до середины июля. Начиная с середины июля и до начала августа в условиях Железинского района качество листьев стремительно падает. Параллельно с заготовкой листьев можно заготавливать в отдельные мешки цветки кипрея. При этом следует избегать сбора стручков, которые впоследствии откроются и выпустят пучок опушенных семян, сильно снижающих качество и товарность сырья. Заготовленные цветки (лепестки) следует сушить отдельно от листьев для сохранения их розовой окраски. При сушке окраска сменится на пурпурно-фиолетовую. Впоследствии высушенные лепестки могут быть добавлены к ферментированным листьям для улучшения внешнего вида чая. Хранение иван-чая следует осуществлять в плотно закрытой стеклянной посуде. Приблизительно в течение месяца в чае происходит сухое ферментирование. За это время чай приобретает свой характерный вкус. Срок годности высушенного чая составляет 2 года. Иван-чай из ферментированных листьев кипрея при правильном приготовлении и употреблении оказывает мягкое тонизирующее действие на организм, не вызывает побочного эффекта [20].

Высокая фармакологическая активность иван-чая и широкий спектр его фармакологического действия, наряду с отличными вкусо-ароматическими свойствами, являются причиной его востребованности на рынке растительных препаратов. Современная рыночная цена

ферментированного иван-чая составляет 19 тыс тг/кг, что при урожайности в 4,3–12,4 ц/га позволяет получать средний доход в 15 865 тыс. тг с гектара. Один сборщик вручную за день собирает 20–25 кг листьев, что в пересчете на сухую массу составляет 4–5 кг. На 1 гектар средней урожайности 8,35 ц/га требуется 36 человеко-дня работы по сбору растительного сырья. Ограниченность сезона заготовки листьев периодом две недели от начала бутонизации до полного цветения обеспечивает 3 рабочих места на гектар за сезон.

Выводы

На основании проведенного анализа литературных источников, выявлено, что кипрей узколистный содержит большое количество биологически активных веществ, важных для организма человека и обладает высокой жизнеспособностью, обеспечивающей его значительный природный запас. Приведенные данные о химическом составе кипрея узколистного указывают на высокое содержание в нем витаминов, аминокислот, макро- и микроэлементов, обуславливающих его лечебные свойства, таким образом, можно сделать вывод что свойства кипрея узколистного шире, чем у классических чаев. Следовательно, кипрей узколистный является перспективным растительным сырьем для производства ряда ценных продуктов здоровья, в частности напитков функционального назначения – фиточаев.

В ходе исследований был выявлен наилучший способ возделывания кипрея узколистного. По результатам полученных данных, показатели посева неочищенными недражированными семенами выше по сравнению с дражированным способом посева семян кипрея. По результатам полученных данных, лучшим сроком посадки кипрея узколистного был определен осенний период, потому как растения осеннего срока посадки опережали в своем развитии растения весенней посадки. Наличие зольных элементов в почве оказывает стимулирующее воздействие на прорастание семян и развитие молодых растений.

Использование современной техники, технологии возделывания и оборудования сельскохозяйственными предприятиями и частными фермерскими хозяйствами позволит современным фермерам перейти на новый технологический уровень развития, обеспечить новые рабочие места, что будет способствовать увеличению производства, повышению количества качественного сырья, отвечающего международным стандартам, на рынке, для фармацевтической промышленности и частных лиц. Возделывание лекарственных трав рекомендуется хозяйствам, где есть необходимые кадры для ухода за посевами и сбора готовой продукции.

Финансирование. Статья выполнена в рамках финансирования по бюджетной программе 217 «Развитие науки, подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований за счет средств республиканского бюджета». ИРН АР09561718 «Изучение интродукционного потенциала лекарственных растений северо-востока Казахстана».

Список литературы

1. Былов В.Н., Карписонова Р.А. Принципы создания и изучения коллекции малораспространенных декоративных многолетников // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1978. – № 107. – С. 77-82.
2. Томилова Л.И. Эндемики флоры Урала в Ботаническом саду в Свердловске // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1982. – № 126. – С. 25-31.
3. Шипулина Л.Д., Шейченко О.П., Толкачев О.Н. Перспективы использования таннинсодержащих растений в медицине // Материалы V междунар. науч.-произв. конф. «Селекция, экология, технологии возделывания и переработки нетрадиционных растений».

– Симферополь, 1996. – С. 261-262.

4. Косс А.Н. Перспективы использования Иван-чая в производстве специализированных напитков // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века». – Прага: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2018. – С. 125-129.

5. Валов Р.И. Фармакогностическое исследование надземной части *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop // Автореферат диссертации. – Улан-Удэ, 2012.

6. Валов Р.И., Ханина М.А., Родин А.П. Элементный состав травы и экстракта хамерии узколистного // Фармация. – 2010. – № 8. – С. 6-8.

7. Нугманова А.И., Галкина Л.А., Багаева Т.В. Гидролитические ферменты Иван-чая (*Chamaenerion Angustifolium*) // Биотехнология. Взгляд в будущее. – 2014. – Т. 2. – С. 26-28.

8. Полежаева И.В., Полежаева Н.И., Меняйло Л.Н. Аминокислотный и минеральный состав вегетативной части *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub. // Химико-фармацевтический журнал. – 2007. – № 3. – С. – 27-29.

9. Астрагалова Л.Е. Медоносное значение иван-чая в Архангельской обл. // Растительные ресурсы. – 1978. – Т. 14. – № 3. – С. 418-420.

10. Ибрагимов А.К., Родионов В.И. Нектаропродуктивность иван-чая на лесных гарях // Межвуз. сборник. – Горький, 1988. – С. 45-46.

11. Никандров В.П. Нектароносы- пчелам // Пчеловодство. – 1974. – № 12. – С. 20-22.

12. Параева Л.К. Медоносные растения Западной Сибири. – Новосибирск: Сиб. кн. изд-во, 1970. – 165 с.

13. Пельменев В.К. Справочная книга пчеловода. – Хабаровск: Хабаров, кн. изд-во, 1969. – 43 с.

14. Старковский Б.Н., Симонов Г.А., Хализова З.Н., Симонов А.Г. Технология возделывания кипрея узколистного в условиях северного региона на кормовые цели // АгроСнабФорум. – 2018. – № 5(161). – С. 66-68.

15. Старковский Б.Н., Медведева Н.А. Использование кипрея узколистного при силосовании // Молочное и мясное скотоводство. – 2006. – № 6. – С. 25-27.

16. Старковский Б.Н., Медведева Н.А. К вопросу создания устойчивой кормовой базы в Вологодской области // Главный зоотехник. – 2006. – № 9. – С. 29-33.

17. Старковский Б.Н., Капустин Н.И. К вопросу интродукции кипрея // Перспективные направления научных исследований молодых учёных Северо-Запада России. – Вологда: Молочное, 2000. – С. 76-78.

18. Старковский Б.Н., Капустин Н.И. Изучение консервирующего действия зелёной массы кипрея // Перспективные направления научных исследований молодых учёных Северо-Запада России. Юбил. сб. науч. трудов к 75-летию аспирантуры ВГМХА. – Вологда: Молочное, 2001. – С. 114-118.

19. Данилов М.Д. Вегетативное и семенное размножение Иван-чая (*Epilobium angustifolium* L.). // Природа. – 1938. – № 3. – С. 99-106.

20. Камкин В.А., Шалабаев Б.А., Ануарбеков М.М. Отчет о НИР по теме: «Изучение интродукционного потенциала лекарственных растений северо-востока Казахстана» (заключительный отчет) // № Гос. Регистрации 0121РК00578. – 2021. – 79 с.

В.А. Камкин, Б.А. Шалабаев, А.Н. Камарова
Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Қазақстанның солтүстік-шығысында жіңішке жапырақты күреңот өсіру және өндіру перспективалары

Аңдатпа. Мақала Қазақстанның солтүстік-шығысында жіңішке жапырақты күреңот өсіру және өндіру перспективаларын зерттеуге арналған. Әдеби дереккөздерді талдау негізінде бай химиялық құрамы және керемет хош иісті қасиеттері бар, жіңішке жапырақты күреңоттың химиялық құрамы туралы мәліметтер алынды. Жіңішке жапырақты күреңоттың пайдалы қасиеттерінің кең спектрі, оның тағамдық технологияларда қолданылуын табады. Мақалада жергілікті жіңішке жапырақты күреңот популяцияларының морфологиялық, биологиялық және экологиялық ерекшеліктері сипатталған. Павлодар облысының Железин ауданы жағдайында жазғы және күзгі егістіктер мен екпелердің тиімді әдістерін зерттеу мақсатында, жіңішке жапырақты күреңот интродукциясының нәтижелері ұсынылды. Өсімдіктердің фенологиясы мен морфологиясының ерекшеліктері егу және отырғызу мерзімдері мен әдістеріне байланысты зерттелді. Зерттеу нәтижесінде Солтүстік-Шығыс Қазақстан жағдайларында жіңішке жапырақты күреңот өсірудің оңтайлы агротехника тәсілдері анықталды. Жергілікті жағдайларға бейімделген өсімдік шикізатын шөп шайына дайындау және өңдеу технологиялары ұсынылды. Жіңішке жапырақты күреңоттың табиғи популяцияларының өнімділігін, оны мәдениетке енгізудің тиімділігін және нарықтық конъюнктураны талдау негізінде жергілікті жабайы өсетін және өсірілетін өсімдік шикізаты негізінде иван-шай өндірудің экономикалық перспективасы көрсетілген.

Түйін сөздер: жіңішке жапырақты күреңот, иван-шай, *Chamaenerion Seg.*, агротехника, фитошай.

V.A. Kamkin, B.A. Shalabaev, A.N. Kamarova
Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

Prospects of cultivation and production of fireweed in the north-east of Kazakhstan

Abstract. The article is devoted to the study of the prospects of fireweed cultivation and production in the northeast of Kazakhstan. Based on the analysis of literary sources, got data on the chemical composition of fireweed, which has a rich chemical composition and excellent taste and aromatic properties. A wide range of useful properties of fireweed finds its application in food technology. The article describes the morphological, biological, and ecological characteristics of the local populations of fireweed. The results of introducing fireweed, to study the effective methods of summer and autumn sowing and planting in the conditions of the Zhelezinskii district of the Pavlodar region, are presented. The features of phenology and morphology of plants, depending on the timing and methods of sowing and planting, were studied. Based on the results of the research revealed the optimal methods of agrotechnics of growing fireweed in the northeast of Kazakhstan. Adapted to local conditions, technologies of harvesting and processing plant raw materials in Phyto tea were proposed. Based on the analysis of productivity of natural populations of fireweed, the effectiveness of its introduction into the culture and market conditions the economic prospects of production of Ivan tea based on local wild and cultivated plant raw materials.

Keywords: fireweed, ivan-tea, *Chamaenerion Seg.*, agrotechnics, phyto-tea.

References

1. Bylov V.N., Karpisonova R.A. Principy sozdaniya i izucheniya kollekcii malorasprostranennyh dekorativnyh mnogoletnikov [Principles of developing and researching a collection of low-spreading decorative perennials], Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Main Botanical Garden], 107, 77-82 (1978). [in Russian]
2. Tomilova L.I. Endemiki flory Urala v Botanicheskom sadu v Sverdlovsk [Endemics of the Urals flora in the Botanical Garden in Sverdlovsk], Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Main Botanical Garden], 126, 25-31 (1982). [in Russian]
3. SHipulina L.D., SHEjchenko O.P., Tolkachev O.N. Perspektivy ispol'zovaniya tanninsoderzhashchih rastenij v medicine. Materialy V mezhdunar. nauch.-proizv. konf. «Selekcija, ekologiya, tekhnologii vozdeleyvaniya i pererabotki netradicionnyh rastenij», Simferopol' [Prospects of use of tannin-containing plants in medicine. Materials of V international scientific-production conference "Breeding, ecology, technology of cultivation and processing of non-traditional plants", Simferopol], 261-262 (1996). [in Russian]
4. Koss A.N. Perspektivy ispol'zovaniya Ivan-chaya v proizvodstve specializirovannyh napitkov. Materialy Mezhdunarodnoj (zaochnoj) nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchnye perspektivy XXI veka», Praga: Nauchno-izdatel'skij centr "Mir nauki" (IP Vostrecov Aleksandr Il'ich) [Prospects for the use of Ivan-tea in the production of specialized drinks. Materials of the International (correspondence) scientific-practical conference "Scientific prospects of the XXI century", Prague, Scientific and Publishing Center "World of Science" (IP Vostretsov Alexander Ilyich)], 125-129 (2018). [in Russian]
5. Valov R.I. Farmakognosticheskoe issledovanie nadzemnoj chasti *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. Avtoreferat dissertacii, Ulan-Ude [Pharmacognostic research of the overground part of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. Dissertation Abstract, Ulan-Ude], 22 (2012). [in Russian]
6. Valov R.I., Hanina M.A., Rodin A.P. Elementnyj sostav travy i ekstrakta hameriona uzkolistnogo, Farmaciya [Elemental composition of the herb and extract of angustifolia chamerion, Pharmacy], 8, 6-8 (2010). [in Russian]
7. Nugmanova A.I., Galkina L.A., Bagaeva T.V. Gidroliticheskie fermenty Ivan-chaya (*Chamerion Angustifolium*), Biotekhnologiya. Vzglyad v budushchee [Hydrolytic enzymes of Ivan-tea (*Chamerion angustifolium*), Biotechnology. Looking to the future], 2, 26-28 (2014). [in Russian]
8. Polezhaeva I.V., Polezhaeva N.I., Menyajlo L.N. Aminokislotnyj i mineral'nyj sostav vegetativnoj chasti *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub., Himiko-farmaceuticheskij zhurnal [Amino acid and mineral composition of the vegetative part of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub., Chemical Pharmaceutical Journal], 3, 27-29 (2007). [in Russian]
9. Astragalova L.E. Medonosnoe znachenie ivan-chaya v Arhangel'skoj obl., Rastitel'nye resursy [Honey-bearing value of willow-herb in the Arkhangelsk region, Plant resources], 14(3), 418-420 (1978). [in Russian]
10. Ibragimov A.K., Rodionov V.I. Nektaroproduktivnost' ivan-chaya na lesnyh garyah, Mezhvuz. Sbornik, Gor'kij [Nectar productivity of Ivan-tea on forest fires, Interuniversity. Collection, Gorky], 45-46 (1988). [in Russian]
11. Nikandrov V.P. Nektaronosy-pchelam, Pchelovodstvo [Nectar-bees for bees, Beekeeping], 12, 20-22 (1974). [in Russian]
12. Paraeva L.K. Medonosnye rasteniya Zapadnoj Sibiri [Honey plants of Western Siberia] (Novosibirsk: Sib. kn. izd-vo, 1970, 165 s.). [in Russian]
13. Pel'menev V.K. Spravochnaya kniga pchelovoda [Reference book of the beekeeper] (Habarovsk: Habarov, kn. izd-vo, 1969, 43 s.). [in Russian]
14. Starkovskij B.N., Simonov G.A., Halizova Z.N., Simonov A.G. Tekhnologiya vozdeleyvaniya kipreya uzkolistnogo v usloviyah severnogo regiona na kormovye celi, AgroSnabForum [Technology of cultivation of fireweed angustifolia in the conditions of the northern region for fodder purposes,

AgroSnabForum], 5(161), 66-68 (2018). [in Russian]

15. Starkovskij B.N., Medvedeva N.A. Ispol'zovanie kipreya uzkolistnogo pri silosovanii, Molochnoe i myasnoe skotovodstvo [The use of narrow-leaved fireweed in ensiling, Dairy and beef cattle breeding], 6, 25-27 (2006). [in Russian]

16. Starkovskij B.N., Medvedeva N.A. K voprosu sozdaniya ustojchivoj kormovoj bazy v Vologodskoj oblasti, Glavnyj zootekhnik [On the issue of creating a sustainable food base in the Vologda region, Chief livestock specialist], 9, 29-33 (2006). [in Russian]

17. Starkovskij B.N., Kapustin N.I. K voprosu introdukcii kipreya, Perspektivnye napravleniya nauchnyh issledovanij molodyh uchyonyh Severo-Zapada Rossii, Vologda, Molochnoe [On the issue of the introduction of fireweed, Perspective directions of scientific research of young scientists of the North-West of Russia, Vologda, Dairy], 76-78 (2000). [in Russian]

18. Starkovskij B.N., Kapustin N.I. Izuchenie konserviruyushchego dejstviya zelyonoy massy kipreya, Perspektivnye napravleniya nauchnyh issledovanij molodyh uchyonyh Severo-Zapada Rossii. YUbil. sb. nauch. trudov k 75-letiyu aspirantury VGMHA, Vologda, Molochnoe [The study of the preservative effect of the green mass of fireweed, Perspective directions of scientific research of young scientists of the North-West of Russia. Anniversary. Sat. scientific Proceedings for the 75th anniversary of the postgraduate study of the VGMHA, Vologda, Dairy], 114-118 (2001). [in Russian]

19. Danilov M.D. Vegetativnoe i semennoe razmnozhenie Ivan-chaya (*Epilobium angustifolium* L.), Priroda [Vegetative and seed reproduction of Ivan-tea (*Epilobium angustifolium* L.), Nature], 3, 99-106 (1938). [in Russian]

20. Kamkin V.A., Shalabaev B.A., Anuarbekov M.M. Otchet o NIR po teme: «Izuchenie introdukcionnogo potenciala lekarstvennyh rastenij severo-vostoka Kazakhstana» (zaklyuchitel'nyj otchet). № Gos. Registracii 0121RK00578. 2021. 79 s. [Research report on the topic: "Study of the introduction potential of medicinal plants in the north-east of Kazakhstan" (final report). No. State. Registration 0121RK00578. 2021. 79 p.]. [in Russian]

Сведения об авторах:

Камкин В.А. – кандидат биологических наук, доцент кафедры агротехнологии, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Шалабаев Б.А. – магистр агрономии, старший преподаватель кафедры агротехнологии, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Камарова А.Н. – PhD кафедры биологии и экологии, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Kamkin V.A. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Agrotechnology Department, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Shalabaev B.A. – Master of Agronomy, Senior Lecturer of the Agrotechnology Department, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Kamarova A.N. – Ph.D. student in Biology, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

**M.Zh. Aiymbay, K.Ye. Zhanassova, A.Zh. Akbassova, S.B. Zhangazin,
D.N. Auganova, M.K. Beissekova, A.B. Kurmanbayeva***

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Corresponding author: kurmanbayeva.assylay@gmail.com*

Mechanisms of plant responses to salinity stress

Abstract. *Environmental stress is a major area of scientific interest because it limits the productivity of both plants and crops. Anthropogenic activities have exacerbated the issue even more. As a result, salt stress appears to be a significant barrier to plant and crop productivity. Salinity has a variety of effects on plants, including osmotic effects and ion-specific toxicity, as well as proline accumulation and sulphur assimilation. Plants known as halophytes have a high salt tolerance, allowing them to survive and thrive in extremely saline conditions. The study of halophytes aids our comprehension of important adaptations required for survival in high salinity environments. Therefore, enhancing plant salt tolerance as well as increasing agricultural yield and quality of crops in saline lands is of vital importance. Here, we look at what we know about how salinity affects plant metabolism and how plants deal with it.*

Keywords: *salt stress, Salicornia and Sarcocornia Plants, sulfur assimilation, proline accumulation, reactive oxygen species (ROS), halophyte plants.*

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-17-30

Introduction

Over time, plants have developed several adaptation strategies to changing environmental conditions such as temperature, light, mineral concentrations, water, and other abiotic, biotic factors. One of the oldest and most significant worldwide abiotic pressures impacting agricultural output is soil salinity. According to the Food and Agricultural Organization (2008), salt affects around 6% of the world's total land surface or roughly 800 million hectares of land (<http://www.fao.org/ag/ag1/ag11/spush/>). Furthermore, by 2050, it is estimated that roughly half of all arable land would be damaged by salt stress [1,2]. As a result, there is a pressing need to develop approaches to mitigate the negative impacts of salt stress and to implement measures to boost crop yield in saline environments. Salinity has an impact on a variety of physiological processes in cell metabolism, including photosynthesis, protein synthesis, energy, and lipid metabolism, as well as causing growth reduction. Plant growth is influenced by ionic and osmotic effects, nutritional imbalances, and oxidative stress. For sustainable crop production, it is therefore vital to understand the physiological processes and molecular mechanisms that plants use to build salt resistance [3,4].

Salt Stress: Consequences and Mechanism of Detoxification

Plants are affected by soil salinity in two ways. High salt concentrations in the soil make it difficult for roots to draw water, and high salt concentrations in the plant can be hazardous [6,7].

Salt stress causes plants to accumulate excessive amounts of sodium (Na^+) and chloride (Cl^-), disrupting the vital nutrient balance. Plants adapt to salt stress to maintain a suitable K^+/Na^+ ratio in the cytosol. Furthermore, excessive formation of reactive oxygen species (ROS) that obstruct physiological activities is an inescapable consequence of elevated Na^+ and Cl^- buildup in plants. High levels of reactive oxygen species (ROS) can oxidize photosynthetic pigments, proteins, lipids, and nucleic acids [8,9]. In transgenic cabbage plants and salt-tolerant cultivars, controlling ROS generation and scavenging in the chloroplast has been demonstrated to be critical for salinity tolerance [9,10]. ROS serves as a stress signal, triggering acclimation and defense systems that, in turn, mitigate stress-related

oxidative damage [11–13]. H₂O² generated by apoplastic polyamine oxidase has recently been demonstrated to alter salinity stress signaling in tobacco and to play a role in the plant response balance between stress tolerance and cell death [14,15]. DNA damage from excessive ROS generation includes base deletion, pyrimidine dimers, cross-links, strand breakage, base modification, and activation of programmed cell death [16]. As a result, plants have numerous detoxification systems to protect cellular components from ROS [17].

Plant salt tolerance systems can be classified as either low-complexity or high-complexity. Changes in various metabolic pathways are involved in low-complexity processes. Selective ion accumulation or exclusion, control of ion uptake by roots and transport into leaves, ion compartmentalization at the cellular and whole-plant levels, synthesis of compatible solutes, changes in membrane structure, induction of antioxidative enzymes, and other changes are examples of these changes [18,19]. Changes that protect major processes like photosynthesis and respiration, such as water use efficiency, and those that preserve important features like cytoskeleton, cell wall, or plasma membrane–cell wall interactions [5,20], as well as chromosome and chromatin structure changes, such as DNA methylation, polyploidization, amplification of specific sequences, or DNA elimination [21,22], are examples of high-complexity mechanisms. Low-complexity mechanisms are thought to be triggered in a coordinated manner to safeguard higher-order processes [23].

Salt Tolerance in Halophyte Plants

Plants may be split into two types based on their resistance to salinity: glycophytes and halophytes. Halophytes are a kind of halophyte that can complete their life cycle at a salt concentration of at least 200 mM NaCl and makeup around 1-2% of the world's flora [24,25]. Some of the more extreme halophytes termed halophytes, can grow and produce biomass at seawater salinities. *Suaeda fruticosa*, which grows in association with *Arthrocnemum macrostachyum*, was reported to exhibit its highest biomass production rate at 400–600 mM NaCl, with little mortality when grown at up to 1000 mM NaCl [26,27].

Halophytes are phylogenetically varied plant species that belong to a variety of plant families, including both dicots and monocots. They are plants that live in one of two types of natural habitats: (1) habitats with high levels of brackish water in the soil that frame coastal lines in both tropical (e.g., mangrove ecosystems) and temperate (e.g., arid and semi-arid inland regions where annual evaporation rates exceed precipitation); and (2) arid and semi-arid inland regions where annual evaporation rates exceed precipitation. Salts are released from basal rocks in these areas, rising to the top layer of soil by capillary action, where they precipitate and induce soil salinization. There are very limited opportunities to use halophytic plant species as crops although there are occasional outliers, such as *Salicornia* from the *Chenopodiaceae* family [28,29].

Salicornia and Sarcocornia Plants

Salicornia and *Sarcocornia*, genera that naturally survive in coastal salt marshes from the Arctic to the Mediterranean and are frequently subjected to daily tides, are promising prospects for the establishment of novel halophytes as crop species.

On the sea coasts, salt-tolerant species of both genera are commonly referred to as "pioneer plants" [30–32]. *Salicornia* is a novel vegetable crop that can be watered with saltwater or very saline water. *Salicornia* is a salt-tolerant plant that can be watered with water that contains as much salt as saltwater [33,34]. The perennial *Sarcocornia* differs from the annual *Salicornia* by its distinct perennial growth habit [30,35] and floral arrangement peculiarities [32,36]. Both genera contain succulent shoots that may be utilized to grow green crops, but the yields and nutritional value of each are different [37,38].

Salicornia is a vegetable with leafless shoots that resemble green asparagus that has been introduced to the European market. The young fleshy tips of this green vegetable are in high demand in gourmet kitchens, not only because of their salty flavor, but also because of their high nutritional content in terms of minerals, antioxidants, and vitamins like vitamin C and β -carotene [33,38]. Importantly, a halophyte crop must be capable of high-yield production under salty circumstances to be economically viable [34,39].

Involvement of Sulphur Containing Compounds in Salt Tolerance

Mineral nutrient levels are important for crop yield and quality. The mineral nutrition and sustainability of crops are both complicated in a saline environment. Reports on the effect of the interaction between salinity level and mineral nutrients on salt tolerance are available [29,40]. For example, an adequate supply of sulfur (S) has been shown to enhance growth and photosynthetic activity to a great extent, and to protect against the negative effects of salt stress on barley crops [41]. Through S-N mediated metabolite synthesis of antioxidant defense compounds in Olieferous brassicas cultivars, plant N and S supply played an important role in plant growth, development, and productivity [42].

Sulphur is found in a wide range of compounds, such as polysaccharides, iron-sulphur clusters, lipids, as well as a broad variety of biomolecules such as vitamins (e.g biotin and thiamine), cofactors (e.g CoA and S-adenosyl- methionine) peptides (e.g glutathione and phytochelatins), secondary products (allyl cysteine sulphoxides and glucosinolates) and the S containing amino acids cysteine and methionine [43,44]. Thiols can react with a wide range of agents, including free radicals, reactive oxygen species, and cytotoxic electrophilic organic xenobiotics, thanks to cysteine residues. As a result, sulphur metabolism is critical in plant stress responses [45–47].

Plants with high antioxidant levels have a better ability to scavenge ROS and so deal with higher salt concentrations [15,48]. As a result, increased antioxidant compound synthesis can be exploited as a future selection factor in crop breeding for salt tolerance [49]. Reduced glutathione (GSH) is one of the antioxidants involved in scavenging ROS and maintaining steady-state ROS levels.

GSH is a tripeptide that is present in high amounts throughout the cell [50,51]. During H_2O_2 breakdown by GSH, the ratio of GSH to its oxidized form, glutathione disulfide (GSSG), is critical for maintaining redox balance in the cell [51–53]. Several plants, including tomato, wheat, and the halophyte *Myrothamnus flaberrifolia* [51,54,55], have been found to benefit from maintaining a high GSH/GSSG ratio.

The activity rates of serine acetyl transferase (SAT) and O-acetyl serine thiol lyase (OASTL) rise in plants subjected to salinity stress, promoting a greater rate of cysteine biosynthesis, which results in enhanced GSH production for defensive responses to salt stress-induced ROS [3]. Many studies have been reported in which S assimilation was improved to generate glutathione. *Brassica napus* treated with saltwater conditions boosted its S assimilation rate and cysteine and GSH production significantly [51,56]. Salt stress has been linked to changes in S assimilation enzymes in broccoli, and *Arabidopsis* [41,47,57] found that salt stress impacted root thiol concentration via modifying the rate of S assimilation. Transgenic techniques have also proven successful in improving plant salt tolerance capability by modifying S metabolism. Increased resistance to oxidative stress was shown when the sulfate transporters, ATP-sulfurylase, Cys, OAS, and GSH were overexpressed [46,58]. Thus, employing genetic engineering to change the regulation of S partitioning and manipulate the production of S-containing molecules in plants might be a viable strategy for enhancing salt tolerance [59,60].

Regulation of Sulfur Assimilation

The absorption of inorganic sulfate by the sulfate transporters SULTR 1,2 is generally the first step in plant sulfur metabolism, and it is fueled by the proton motive force provided by ATPase [60,61].

Sulphate reduction activation is the most common pathway for assimilation, and it occurs in plastids [44,62]. The adenylylation of sulfate, mediated by ATP sulfurylase (ATPS), generates adenosine 5'-phosphosulfate, which starts the sulfate reduction pathway (Fig 1). (APS). The plastidic enzyme APS reductase then converts APS to sulfite (APR). Sulfite reductase also converts the hazardous sulfite to sulfide (SiR). Sulfide is then integrated into cysteine in a process mediated by the enzyme OAS-TL [60,63]. Sulfide is combined with O-acetylserine (OAS), which is catalyzed by SAT.

Most sulfur compounds are generated from cysteine, which is the major intermediate [see Fig 1 and [62]]. Cysteine can also be used as a precursor for the production of methionine, which is then integrated into proteins or transformed into S-adenosyl methionine (SAM) by SAM synthetase after a reaction with ATP. The two principal S products, cysteine, and methionine, need interactions with both N and C metabolism. The coordinated actions of S, N, and C metabolism in plants are believed to improve salt stress tolerance and aid the S assimilatory reduction route for salt stress control in plants [4].

As previously mentioned, sulfate assimilation in plants is highly documented. However, only scarce information exists on sulfate assimilation in halophytes exposed to salinity. Thus, not much is known about the behavior of the biochemical and molecular components of sulfate assimilation in halophytes [40,64].

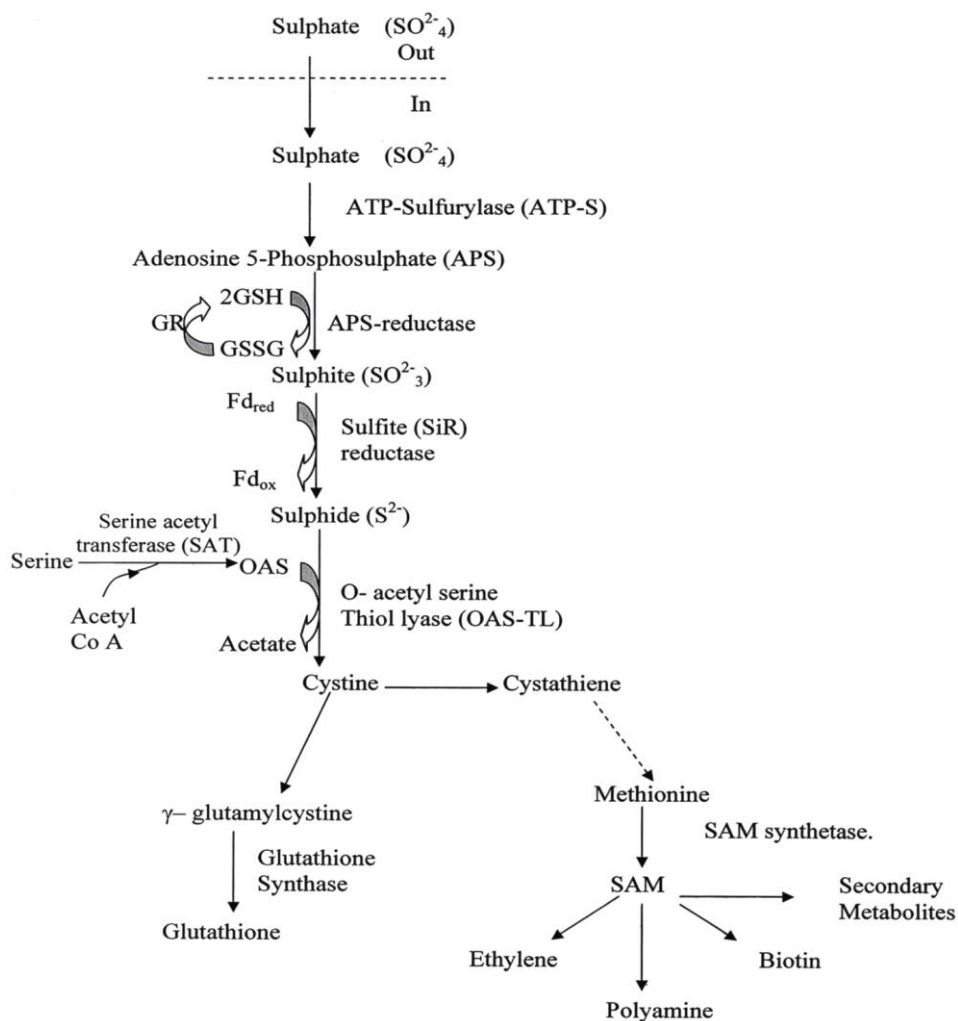


Figure 1. Schematic representation of the sulfate reduction pathway [3]

Mechanisms of proline stress protection

The accumulation of proline is one of the most critical changes in the metabolism of plants when they are under a lot of salt stress. [65].

In plants, intracellular proline levels have been discovered to expand by >100-fold under stress. Proline accumulation in plants happens throughout the presentation on different stresses, including salt, drought, UV radiation, and oxidative stress [66]. Under stress conditions (e.g., drought, salinity), proline accumulation for plants includes complementary regulation of pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) and proline dehydrogenase (PRODH). Over higher plants, biosynthesis from glutamate (Glu) and ornithine (Orn). The Glu pathway starts for P5CS by reducing Glu with ATP and NAD(P)H⁺H⁺ to glutamate-semialdehyde (GSA), which transforms to pyrroline-5-carboxylate (P5C) spontaneously. For proline biosynthesis, the Orn pathway needs to be mostly acknowledged as an elective pathway. Orn is transaminated by ornithine-d-aminotransferase (OAT), which produces GSA and P5C, which is then subsequently reduced to proline by pyrroline-5-carboxylate reductase (P5CR) [67]. P5CS activity (Glu pathway) expanded upon salt stress treatment, same time OAT action (Orn pathway) remained unchanged, implying that the Glu pathway instead of the Orn pathway assumes an additional huge part on proline amassing throughout osmotic regulation in salt stress [65].

During salt stress, proline was shown to protect Complex II of the mitochondrial electron transport chain, stabilizing mitochondrial respiration.

Under specific conditions, the P5C–proline cycle can deliver electrons will mitochondrial electron transport without producing glutamate and, under specific conditions, could produce more ROS in the mitochondria [68]. Proline catabolism is, therefore, a critical regulator for cell division ROS equalization and impacts various extra regulatory pathways. The certainty that proline might go about as a signaling molecule and also impact protection pathways, and control complex metabolic and developmental processes offer extra chances for plant improvement [5,68].

In the halophyte species, proline might have been sequestered will vacuoles in non-stressed plants, while in salt-stressed plants, a high proline content might have been distinguished in the cytosol, suggesting the vitality of de novo proline biosynthesis and also transport for proline accumulation [7].

The mechanisms by which proline alleviates anxiety could be classified into two broad categories. One possibility is that organisms gather proline by increasing proline biosynthesis, with proline acting as an osmolyte, a chemical chaperone, and a direct scavenger of OH⁻ or O⁻². A second system relies ahead on dynamic proline metabolic flux and linkages with different metabolic pathways. Proline metabolic flux prompts cell insurance by helping maintain cellular energy and NADP⁺/NADPH balance, enacting indicating pathways that push cell survival, What's more helping should different pathways for example, such those tricarboxylic acid cycle and GSH biosynthesis [66,67]

Conclusion

In the future, soil salinity will continue to be a danger to agricultural productivity and food security. The most efficient strategy to solve his environmental problem is to cultivate salt-tolerant crops. Under salt stress, sulfate needs for metabolic adaption responses are increasing, indicating the importance of sulfur-containing metabolites. Sulfur-containing compounds have two functions in plants: they serve as structural components for a variety of cellular components as well as for cellular interaction with the environment as signaling molecules. Changes in ROS and ROS-related enzymes are also early stress indicators. Early identification of salinity stress impact may be possible using molecular and oxidative stress. Still, each stress signature has its limitations, whether they are morphological, physiological, oxidative, or molecular changes in plants. Chlorophyll content, proline accumulation, stress protectants, and membrane stability are all investigated using physiological and biochemical

markers. These physiological markers, especially changes in plants' levels of proline, are important for making plants more resistant to salt.

Funding. The work was funded by the Ministry of Education and Science Republic of Kazakhstan (grant number AP09058098).

References

1. Manchanda G., Garg N. Salinity and its effects on the functional biology of legumes // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2008. – Vol. 30. – № 5. – P. 595-618.
2. Hernández J.A. Salinity tolerance in plants: Trends and perspectives // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2019. – Vol. 20. – № 10. – P. 1-8.
3. Khan M.I.R. et al. Potentiality of sulphur-containing compounds in salt stress tolerance // *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. Springer. – New York, 2013. – Vol. 9781461447474. – P. 443-472.
4. Iqbal N. et al. Cross-talk between sulfur assimilation and ethylene signaling in plants // *Plant Signaling and Behavior*. – 2013. – Vol. 8. – № 1. – P. 104-112.
5. Stanislav V. Isayenkov, Frans J. M. Maathuis. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – Vol. 10. – № 2.
6. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance // *Annual Review of Plant Biology*. – 2008. – Vol. 59. – P. 651-681.
7. van Zelm E. et al. Salt Tolerance Mechanisms of Plants // *Annual Review of Plant Biology*. – 2020. – Vol. 71. – P. 403-433.
8. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. The importance of free radicals and catalytic metal ions in human diseases // *Aspects Med*. – 1985. – Vol. 8. – P. 89-193.
9. Liang W. et al. Plant salt-tolerance mechanism: A review // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. Elsevier Ltd. – 2018. – Vol. 495. – № 1. – P. 286-291.
10. Tseng M.J. et al. Enhanced tolerance to sulfur dioxide and salt stress of transgenic Chinese cabbage plants expressing both superoxide dismutase and catalase in chloroplasts // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 45. – № 10-11. – P. 822-833.
11. Miller G. et al. Reactive oxygen signaling and abiotic stress // *Physiologia Plantarum*. – 2008. – Vol. 133. – № 3. – P. 481-489.
12. Miller G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses // *Plant, Cell and Environment*. – 2010. – Vol. 33. – № 4. – P. 453-467.
13. Waszczak C. et al. Annual Review of Plant Biology Reactive Oxygen Species in Plant Signaling. – 2018. – P. 5.1-5.28.
14. Moschou P.N. et al. Spermidine exodus and oxidation in the apoplast induced by abiotic stress is responsible for H₂O₂ signatures that direct tolerance responses in tobacco // *Plant Cell*. American Society of Plant Biologists. – 2008. – Vol. 20. – № 6. – P. 1708-1724.
15. Sachdev S. et al. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms // *Antioxidants*. MDPI, – 2021. – Vol. 10. – № 2. – P. 1-37.
16. Sharma P. et al. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions // *Journal of Botany*. – Hindawi Limited, 2012. – Vol. 2012. – P. 1-26.
17. Turan S., Tripathy B.C. Salt and genotype impact on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in two rice cultivars during de-etiolation // *Protoplasma*. Springer-Verlag Wien. – 2013. – Vol. 250. – № 1. – P. 209-222.
18. Parida A.K., Das A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – Academic Press, 2005. – Vol. 60. – № 3. – P. 324-349.

19. Farhangi-Abriz S., Torabian S. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Academic Press. – 2017. – Vol. 137. – P. 64-70.
20. Botella M.A. et al. Characterization and in situ localization of a salt-induced tomato peroxidase mRNA // *Plant Molecular Biology*. – 1994. – Vol. 25. – P. 105-114.
21. Walbot V., Cullis C.A. Rapid genomic change in higher plants // *Annu. Rev. Plant Physiol.* – 1985. – Vol. 36. – P. 367-391.
22. Banerjee A., Roychoudhury A. Epigenetic regulation during salinity and drought stress in plants: Histone modifications and DNA methylation // *Plant Gene*. Elsevier B.V., – 2017. – Vol. 11. – P. 199-204.
23. Bohnert H.J. et al. Adaptations to Environmental Stresses // *The Plant Cell*. American Society of Plant Physiologists. – 1995. – Vol. 7. – P. 1099-1100.
24. Flowers T.J., Colmer T.D. Salinity tolerance in halophytes // *New Phytologist*. – 2008. – Vol. 179. – № 4. – P. 945-963.
25. Assaha D.V.M. et al. The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes // *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A., – 2017. – Vol. 8. – № 509. – P. 1-19.
26. Ajmal Khan M. et al. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk // *Journal of Arid Environments*. Academic Press. – 2000. – Vol. 45. – № 1. – P. 73-84.
27. Yuan F. et al. Reproductive physiology of halophytes: Current standing // *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A., – 2019. – Vol. 9. – № 1954 – P. 1-13.
28. Kosová K. et al. Protein contribution to plant salinity response and tolerance acquisition // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – Vol. 14. – № 4. – P. 6757-6789.
29. Zhao C. et al. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity // *Innovation(China)*. Cell Press. – 2020. – Vol. 1. – № 1.
30. Davy A.J. et al. Biological Flora of the British Isles: *Sarcocornia perennis* (Miller) A.J. Scott // *Journal of Ecology*. – 2006. – Vol. 94. – № 5. – P. 1035-1048.
31. Davy A.J. et al. *Salicornia* L. (*Salicorniapusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea* L., *S. obscura* P.W. Ball & Tutin, *S. nitens* P.W. Ball & Tutin, *S. fragilis* P.W. Ball & Tutin and *S. dolichostachya* Moss) // *Journal of Ecology*. – 2001. – Vol. 89. – P. 681-707.
32. Contreras R. et al. Rapid diagnostic PCR method for identification of the genera *sarcocornia* and *salicornia* // *Idesia*. Universidad de Tarapaca. – 2018. – Vol. 36. – № 3. – P. 95-106.
33. Ventura Y. et al. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops // *Scientia Horticulturae*. – 2011. – Vol. 128. – № 3. – P. 189-196.
34. Antunes M.D. et al. Behavior of “Green salt” from *Salicornia ramosissima* and *Sarcocornia perennis* through storage // *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science. – 2018. – Vol. 1194. – P. 777-783.
35. Custódio L. et al. A Review on *Sarcocornia* Species: Ethnopharmacology, Nutritional Properties, Phytochemistry, Biological Activities and Propagation // *Foods*. – 2021. – Vol. 10. – № 11. – P. 2778.
36. Author C. et al. A Taxonomic Nightmare Comes True: Phylogeny and Biogeography of Glassworts *Salicornia*. – 2007. – Vol. 56. – № 4. – P. 1143-1170.
37. Ventura Y. et al. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species // *Scientia Horticulturae*. – 2011. – Vol. 130. – № 3. – P. 510-516.
38. Antunes M.D. et al. Nutritional characterization and storage ability of *salicornia ramosissima* and *sarcocornia perennis* for fresh vegetable salads // *Horticulturae*. MDPI AG. – 2021. – Vol. 7. – № 1. – P. 1-12.

39. Edward P. et al. *Salicornia bigelovii* Torr.: An Oilseed Halophyte for Seawater Irrigation // *Science*. – 1991. – Vol. 251.
40. Nazar R. et al. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars // *Journal of Plant Physiology*. – 2011. – Vol. 168. – № 8. – P. 807-815.
41. Astolfi S., Zuchi S. Adequate S supply protects barley plants from adverse effects of salinity stress by increasing thiol contents // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2013. – Vol. 35. – № 1. – P. 175-181.
42. Anjum N.A. et al. Improving growth and productivity of oleiferous brassicas under changing environment: Significance of nitrogen and sulphur nutrition, and underlying mechanisms // *The Scientific World Journal*. – 2012. – Vol. 2012.
43. Nocito F.F. et al. Cadmium retention in rice roots is influenced by cadmium availability, chelation and translocation // *Plant, Cell and Environment*. – 2011. – Vol. 34. – № 6. – P. 994-1008.
44. Chan K.X. et al. Secondary sulfur metabolism in cellular signalling and oxidative stress responses // *Journal of Experimental Botany*. Oxford University Press. – 2019. – Vol. 70. – № 16. – P. 4237-4250.
45. Mullineaux P.M., Rausch T. Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stress-responsive gene expression // *Photosynthesis Research*. – 2005. – Vol. 86. – № 3. – P. 459-474.
46. Kopriva S. et al. Sulfur nutrition: Impacts on plant development, metabolism, and stress responses // *Journal of Experimental Botany*. Oxford University Press. – 2019. – Vol. 70. – № 16. – P. 4069-4073.
47. Koprivova A. et al. Complex signaling network in regulation of adenosine 5'- phosphosulfate reductase by salt stress in arabidopsis roots // *Plant Physiology*. American Society of Plant Biologists. – 2008. – Vol. 146. – № 3. – P. 1408-1420.
48. Demiral T., Türkan I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance // *Environmental and Experimental Botany*. Elsevier. – 2005. – Vol. 53. – № 3. – P. 247-257.
49. Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers // *Biotechnology Advances*. – 2009. – Vol. 27. – № 1. – P. 84-93.
50. Christine H. et al. Redox Homeostasis and Antioxidant Signaling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses. // *The Plant Cell*. – 2005. – Vol. 17. – P. 1866-1875.
51. Santanu S. et al. Involvement of Sulfur in the Regulation of Abiotic Stress Tolerance in Plants // *Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: Biochemical and Molecular Perspectives*. – 2020. – P. 437-466.
52. Shao H. et al. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses // *Comptes Rendus - Biologies*. – 2008. – Vol. 331. – № 6. – P. 433-441.
53. Szalai G. et al. Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2009. – Vol. 28. – № 1. – P. 66-80.
54. Kocsy G. et al. Induction of glutathione synthesis and glutathione reductase activity by abiotic stresses in maize and wheat // *The Scientific World Journal*. – 2002. – Vol. 2. – P. 1699-1705.
55. Kranner I. et al. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status // *The Plant Journal*. – 2002. – Vol. 31. – № 1. – P. 13-24.
56. Ruiz J.M., Blumwald E. Salinity-induced glutathione synthesis in *Brassica napus* // *Planta*. – 2002. – Vol. 214. – № 6. – P. 965-969.
57. López-Berenguer C. et al. Nitrogen, phosphorus, and sulfur nutrition in broccoli plants grown under salinity // *Journal of Plant Nutrition*. – 2007. – Vol. 30. – № 11. – P. 1855-1870.
58. Aono M. et al. Enhanced Tolerance to Photooxidative Stress of Transgenic *Nicotiana tabacum* with High Chloroplastic Glutathione Reductase Activity // *Plant Cell Physiol*. – 1993. – Vol. 34. – № 1. – P. 129-135.

59. Geu-Flores F. et al. Glucosinolate engineering identifies a γ -glutamyl peptidase // Nature Chemical Biology. Nature Publishing Group. – 2009. – Vol. 5. – № 8. – P. 575-577.
60. Rasheed F. et al. The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance // Journal of Plant Growth Regulation. Springer. – 2020.
61. Smith F.W. et al. Plant members of a family of sulfate transporters reveal functional subtypes (ion transport/sulfate uptake) // Plant Biology. – 1995. – Vol. 92. – P. 9373-9377.
62. Leustek T. et al. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 2000. – Vol. 51. – P. 141-65.
63. Yarmolinsky D. et al. Sulfite reductase protects plants against sulfite toxicity // Plant Physiology. American Society of Plant Biologists. – 2013. – Vol. 161. – № 2. – P. 725-743.
64. Aghajanzadeh T.A. et al. Sulfur metabolism in *Allium cepa* is hardly affected by chloride and sulfate salinity // Archives of Agronomy and Soil Science. Taylor and Francis Ltd., – 2019. – Vol. 65. – № 7. – P. 945-956.
65. el Moukhtari A. et al. How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? // Frontiers in Plant Science. Frontiers Media S.A. – 2020. – Vol. 11.
66. Liang X. et al. Proline mechanisms of stress survival // Antioxidants and Redox Signaling. – 2013. – Vol. 19. – № 9. – P. 998-1011.
67. Mansour M.M.F., Ali E.F. Evaluation of proline functions in saline conditions // Phytochemistry. Elsevier Ltd. – 2017. – Vol. 140. – P. 52-68.
68. Szabados L., Saviouré A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends in Plant Science. – 2010. – Vol. 15. – № 2. – P. 89-97.

**М.Ж. Айымбай, К.Е. Жанасова, А.Ж. Акбасова, С.Б. Жангазин, Д.Н. Ауганова,
М.К. Бейсекова, А.Б. Курманбаева**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Тұздылық стресіне өсімдіктердің жауап беру механизмдері

Аңдатпа. Экологиялық стресс ғылыми қызығушылықтың негізгі саласы болып табылады, өйткені ол өсімдіктердің де, дақылдардың да өнімділігін шектейді. Антропогендік белсенділік бұл мәселені одан әрі ушықтырды. Нәтижесінде, тұзды стресс өсімдіктер мен дақылдардың өнімділігіне айтарлықтай кедергі келтіреді. Тұздылық өсімдіктерге әртүрлі әсер етеді, соның ішінде осмотикалық әсер және ион-спецификалық уыттылық, сонымен қатар пролиннің жиналуы және күкірттің ассимиляциясы. Галофиттер деп аталатын өсімдіктер тұзға жоғары төзімділікке ие, бұл оларға тұзды стресс жағдайында өмір сүруге және өсуге мүмкіндік береді. Галофиттерді зерттеу жоғары тұздылық жағдайында өмір сүру үшін қажет маңызды бейімделулерді түсінуге көмектеседі. Сондықтан өсімдіктердің тұзға төзімділігін арттыру және тұзды жерлерде дақылдардың өнімділігі мен сапасын арттыру өте маңызды. Мұнда біз тұздылықтың өсімдіктер алмасуының әртүрлі аспектілеріне және оның өсімдіктерге төзімділік стратегиясына әсері туралы түсінігімізді қарастырамыз.

Түйін сөздер: тұзды стресс, *Salicornia* және *Sarcocornia* өсімдіктері, күкірттің ассимиляциясы, пролиннің жиналуы, оттегінің белсенді формалары (ОБФ), галофитті өсімдіктер.

М.Ж. Айымбай, К.Е. Жанасова, А.Ж. Акбасова, С.Б. Жангазин, Д.Н. Ауганова,
М.К. Бейсекова, А.Б. Курманбаева

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Механизмы ответа растений на солевой стресс

Аннотация. Экологический стресс является основной областью научного интереса, поскольку он ограничивает продуктивность как растений, так и сельскохозяйственных культур. Антропогенная деятельность еще больше усугубила эту проблему. В результате солевой стресс, по-видимому, является серьезным препятствием для продуктивности растений и сельскохозяйственных культур. Соленость оказывает различное воздействие на растения, включая осмотический эффект и ионоспецифическую токсичность, а также накопление пролина и ассимиляцию серы. Растения, известные как галофиты, обладают высокой солеустойчивостью, что позволяет им выживать и процветать в чрезвычайно засоленных условиях. Изучение галофитов способствует пониманию важных адаптаций, необходимых для выживания в условиях высокой солености. Поэтому повышение солеустойчивости растений и повышение урожайности и качества сельскохозяйственных культур на засоленных землях имеют жизненно важное значение. Здесь мы рассмотрим наше понимание влияния солености на различные аспекты метаболизма растений и стратегии его толерантности у растений.

Ключевые слова: солевой стресс, растения *Salicornia* и *Sarcocornia*, ассимиляция серы, накопление пролина, активные формы кислорода (АФК), галофитные растения.

References

1. Manchanda G., Garg N. Salinity and its effects on the functional biology of legumes, *Acta Physiologiae Plantarum*, 5(30), 595-618 (2008).
2. Hernández J.A. Salinity tolerance in plants: Trends and perspectives, *International Journal of Molecular Sciences*, 10(20), 1-8 (2019).
3. Khan M.I.R. et al. Potentiality of sulphur-containing compounds in salt stress tolerance, *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. Springer New York, 9781461447474, 443-472 (2013).
4. Iqbal N. et al. Cross-talk between sulfur assimilation and ethylene signaling in plants, *Plant Signaling and Behavior*, 1(8), 104-112 (2013).
5. Stanislav V. Isayenkov, Frans J. M. Maathuis. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain, *Frontiers in Plant Science*, 2(10), (2019).
6. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance, *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681(2008).
7. van Zelm E. et al. Salt Tolerance Mechanisms of Plants, *Annual Review of Plant Biology*, 71, 403-433 (2020).
8. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. The importance of free radicals and catalytic metal ions in human diseases, *Aspects Med*, 8, 89-193 (1985).
9. Liang W. et al. Plant salt-tolerance mechanism: A review, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Elsevier Ltd, 1(495), 286-291 (2018).
10. Tseng M.J. et al. Enhanced tolerance to sulfur dioxide and salt stress of transgenic Chinese cabbage plants expressing both superoxide dismutase and catalase in chloroplasts, *Plant Physiology and Biochemistry*, 10-11(45), 822-833 (2007).
11. Miller G. et al. Reactive oxygen signaling and abiotic stress, *Physiologia Plantarum*, 3(133), 481-489 (2008).

12. Miller G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses, *Plant, Cell and Environment*, 4(33), 453-467 (2010).
13. Waszczak C. et al. Annual Review of Plant Biology Reactive Oxygen Species in Plant Signaling, 5.1-5.28 (2018).
14. Moschou P.N. et al. Spermidine exodus and oxidation in the apoplast induced by abiotic stress is responsible for H₂O₂ signatures that direct tolerance responses in tobacco, *Plant Cell*. American Society of Plant Biologists, 6(20), 1708-1724 (2008).
15. Sachdev S. et al. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms, *Antioxidants*, MDPI, 2(10), 1-37 (2021).
16. Sharma P. et al. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions, *Journal of Botany*, Hindawi Limited, 2012, 1-26 (2012).
17. Turan S., Tripathy B.C. Salt and genotype impact on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in two rice cultivars during de-etiolation, *Protoplasma*, Springer-Verlag Wien, 1(250), 209-222 (2013).
18. Parida A.K., Das A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Academic Press, 3(60), 324-349 (2005).
19. Farhangi-Abri S., Torabian S. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Academic Press, 137, 64-70 (2017).
20. Botella M.A. et al. Characterization and in situ localization of a salt-induced tomato peroxidase mRNA, *Plant Molecular Biology*, 25, 105-114 (1994).
21. Walbot V., Cullis C.A. Rapid genomic change in higher plants, *Annu. Rev. Plant Physiol*, 36, 367-391 (1985).
22. Banerjee A., Roychoudhury A. Epigenetic regulation during salinity and drought stress in plants: Histone modifications and DNA methylation, *Plant Gene*, Elsevier B.V., 11, 199-204 (2017).
23. Bohnert H.J. et al. Adaptations to Environmental Stresses, *The Plant Cell*, American Society of Plant Physiologists, 7, 1099-1100 (1995).
24. Flowers T.J., Colmer T.D. Salinity tolerance in halophytes, *New Phytologist*, 4(179), 945-963 (2008).
25. Assaha D.V.M. et al. The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes, *Frontiers in Physiology*, Frontiers Media S.A., 509(8), 1-19 (2017).
26. Ajmal Khan M. et al. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk, *Journal of Arid Environments*, Academic Press, 1(45), 73-84 (2000).
27. Yuan F. et al. Reproductive physiology of halophytes: Current standing, *Frontiers in Plant Science*, Frontiers Media S.A., 1954(9), 1-13 (2019).
28. Kosová K. et al. Protein contribution to plant salinity response and tolerance acquisition, *International Journal of Molecular Sciences*, 4(14), 6757-6789 (2013).
29. Zhao C. et al. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity, *Innovation (China)*, Cell Press, 1(1), (2020).
30. Davy A.J. et al. Biological Flora of the British Isles: *Sarcocornia perennis* (Miller) A.J. Scott, *Journal of Ecology*, 5(94), 1035-1048 (2006).
31. Davy A.J. et al. *Salicornia* L. (*Salicorniapusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea* L., *S. obscura* P.W. Ball & Tutin, *S. nitens* P.W. Ball & Tutin, *S. fragilis* P.W. Ball & Tutin and *S. dolichostachya* Moss), *Journal of Ecology*, 89, 681-707 (2001).
32. Contreras R. et al. Rapid diagnostic PCR method for identification of the genera *sarcocornia* and *salicornia*, *Idesia*. Universidad de Tarapaca, 3(36), 95-106 (2018).

33. Ventura Y. et al. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops, *Scientia Horticulturae*, 3(128), 189-196 (2011).
34. Antunes M.D. et al. Behavior of “Green salt” from *Salicornia ramosissima* and *Sarcocornia perennis* through storage, *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science, 1194, 777-783 (2018).
35. Custódio L. et al. A Review on *Sarcocornia* Species: Ethnopharmacology, Nutritional Properties, Phytochemistry, Biological Activities and Propagation, *Foods*, 11(10), 2778 (2021).
36. Author C. et al. A Taxonomic Nightmare Comes True: Phylogeny and Biogeography of Glassworts *Salicornia*, 4(56), 1143-1170 (2007).
37. Ventura Y. et al. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species, *Scientia Horticulturae*, 3(130), 510-516 (2011).
38. Antunes M.D. et al. Nutritional characterization and storage ability of *salicornia ramosissima* and *sarcocornia perennis* for fresh vegetable salads, *Horticulturae*, MDPI AG, 1(7), 1-12 (2021).
39. Edward P. et al. *Salicornia bigelovii* Torr.: An Oilseed Halophyte for Seawater Irrigation, *Science*, 251, (1991).
40. Nazar R. et al. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars, *Journal of Plant Physiology*, 8(168), 807-815 (2011).
41. Astolfi S., Zuchi S. Adequate S supply protects barley plants from adverse effects of salinity stress by increasing thiol contents, *Acta Physiologiae Plantarum*, 1(35), 175-181 (2013).
42. Anjum N.A. et al. Improving growth and productivity of oleiferous brassicas under changing environment: Significance of nitrogen and sulphur nutrition, and underlying mechanisms, *The Scientific World Journal*, 2012, (2012).
43. Nocito F.F. et al. Cadmium retention in rice roots is influenced by cadmium availability, chelation and translocation, *Plant, Cell and Environment*, 6(34), 994-1008 (2011).
44. Chan K.X. et al. Secondary sulfur metabolism in cellular signalling and oxidative stress responses, *Journal of Experimental Botany*, Oxford University Press, 16(70), 4237-4250 (2019).
45. Mullineaux P.M., Rausch T. Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stress-responsive gene expression, *Photosynthesis Research*, 3(86), 459-474 (2005).
46. Kopriva S. et al. Sulfur nutrition: Impacts on plant development, metabolism, and stress responses, *Journal of Experimental Botany*, Oxford University Press, 16(70), 4069-4073 (2019).
47. Koprivova A. et al. Complex signaling network in regulation of adenosine 5'- phosphosulfate reductase by salt stress in *arabidopsis* roots, *Plant Physiology*. American Society of Plant Biologists, 3(146), 1408-1420 (2008).
48. Demiral T., Türkan I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, *Environmental and Experimental Botany*, Elsevier, 3(53), 247-257 (2005).
49. Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers, *Biotechnology Advances*, 1(27), 84-93 (2009).
50. Christine H. et al. Redox Homeostasis and Antioxidant Signaling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses, *The Plant Cell*, 17, 1866-1875 (2005).
51. Santanu S. et al. Involvement of Sulfur in the Regulation of Abiotic Stress Tolerance in Plants, *Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: Biochemical and Molecular Perspectives*, 437-466 (2020).
52. Shao H. bo et al. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses, *Comptes Rendus – Biologies*, 6(331), 433-441 (2008).
53. Szalai G. et al. Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions, *Journal of Plant Growth Regulation*, 1(28), 66-80 (2009).

54. Kocsy G. et al. Induction of glutathione synthesis and glutathione reductase activity by abiotic stresses in maize and wheat, *The Scientific World Journal*, 2, 1699-1705 (2002).
55. Kranner I. et al. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status, *The Plant Journal*, 1(31), 13-24 (2002).
56. Ruiz J.M., Blumwald E. Salinity-induced glutathione synthesis in *Brassica napus*, *Planta*, 6(214), 965-969 (2002).
57. López-Berenguer C. et al. Nitrogen, phosphorus, and sulfur nutrition in broccoli plants grown under salinity, *Journal of Plant Nutrition*, 11(30), 1855-1870 (2007).
58. Aono M. et al. Enhanced Tolerance to Photooxidative Stress of Transgenic *Nicotiana tabacum* with High Chloroplastic Glutathione Reductase Activity, *Plant Cell Physiol*, 1(340), 129-135 (1993).
59. Geu-Flores F. et al. Glucosinolate engineering identifies a γ -glutamyl peptidase, *Nature Chemical Biology*. Nature Publishing Group, 8(50), 575-577 (2009).
60. Rasheed F. et al. The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance, *Journal of Plant Growth Regulation*, Springer, (2020).
61. Smith F.W. et al. Plant members of a family of sulfate transporters reveal functional subtypes (ion transport/sulfate uptake), *Plant Biology*, 92, 9373-9377 (1995).
62. Leustek T. et al. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 51, 141-65 (2000).
63. Yarmolinsky D. et al. Sulfite reductase protects plants against sulfite toxicity, *Plant Physiology*, American Society of Plant Biologists, 2(161), 725-743 (2013).
64. Aghajanzadeh T.A. et al. Sulfur metabolism in *Allium cepa* is hardly affected by chloride and sulfate salinity, *Archives of Agronomy and Soil Science*. Taylor and Francis Ltd., 7(65), 945-956 (2019).
65. el Moukhtari A. et al. How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A., 11, (2020).
66. Liang X. et al. Proline mechanisms of stress survival, *Antioxidants and Redox Signaling*, 9(19), 998-1011 (2013).
67. Mansour M.M.F., Ali E.F. Evaluation of proline functions in saline conditions, *Phytochemistry*, Elsevier Ltd, 140, 52-68 (2017).
68. Szabados L., Savaouré A. Proline: a multifunctional amino acid, *Trends in Plant Science*, 2(15), 89-97 (2010).

Information about authors:

Aiymbay M.Zh. – master student of the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Zhanassova K.Ye – Ph.D. student of the Department of Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Akbassova A.Zh. – Associate Professor of the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Zhangazin S.B. – Associate Professor of the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Auganova D.N. – Master student of the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Beissekova M.K. – Ph.D. student of the Department of Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Kurmanbayeva A.B. – Associate Professor of the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Айымбай М.Ж. – биотехнология және микробиология кафедрасының магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Жанасова К.Е. – PhD, жалпы биология және геномика кафедрасының, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Акбасова А.Ж. – биотехнология және микробиология кафедрасының профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Жангазин С.Б. – биотехнология және микробиология кафедрасының профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Ауганова Д.Н. – биотехнология және микробиология кафедрасының магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Бейсекова М.К. – жалпы биология және геномика кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Курманбаева А.Б. – биотехнология және микробиология кафедрасының профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпас көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

G.N. Kairova¹, Z.B. Sapakhova^{2*}, N. Daulet¹, D. Absatarova¹

¹Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: zagipasapakhova@gmail.com

The fire blight prevalence on different varieties of apple trees in the main industrial zone of horticulture (south and south-east of Kazakhstan)

Abstract. Apple is the most significant fruit in Kazakhstan, as well as in many other countries of the world. According to the Statistics Agency in 2020, the apple cultivation area in Kazakhstan is about 36 thousand hectares with a gross harvest of 259.1 thousand tons. The fire blight of fruit crops, in particular apple trees, is one of the most harmful infectious diseases, rapidly spreading and creating a constant threat to the apple plantations of Kazakhstan. In order to avoid the further spread of fire blight in the territory of Kazakhstan, it is very important to grow varieties of fruit trees resistant to fire blight. The article presents the results on the spread of fire blight on zoned, introduced, and promising apple varieties in plantations of the main industrial zone of horticulture (Turkistan, Zhambyl, Almaty regions). As a result of the bacteriological analysis of the selected samples, 8 bacterial isolates were extracted from the varieties such as Aport, Voskhod, Sinap Almaty, Maksat, Golden Delicious, Kon-fetnoye, Pinova, Pink Lady, which, and were like the causative agent of fire blight by morphological and cultural characteristics. Bacterial pathogenicity testing on immature apple fruit showed positive test results confirming the presence of the bacterium *Erwinia amylovora*, the causative agent of fire blight.

Keywords: apple tree, disease, fire blight, phytopathological monitoring, varieties, *Erwinia amylovora*, the resistance of varieties, the prevalence of the disease.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-31-40

Introduction

Apple is the most popular fruit in Kazakhstan, as well as in many other countries of the world. Kazakhstan is a leader in increasing fruit production. Apple orchards cover 77% out of 45.0 thousand hectares of pome and stone fruit orchards. Southern and southeastern regions of Kazakhstan have the most favorable climatic conditions for growing fruit crops, in particular apple trees. According to the Statistics Agency in 2020, the apple cultivation area in Kazakhstan is about 36 thousand hectares with a gross harvest of 259.1 thousand tons. According to the varieties research of the plantation in the country, a big assortment of fruit crops is recommended for use, with about 69 apple varieties included in the State register in Kazakhstan.

One of the most harmful infectious diseases of fruit crops is fire blight (*Erwinia amylovora*). It is a quarantine object in Kazakhstan. The disease is caused by the bacteria *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow *et al* and affects apples (*Malus domestica*) and pear (*Pyrus communis*). The disease affects all apple tree organs: flowers, blossoming buds, fruits, leaves, shoots, boughs, bark stem.

Erwinia amylovora was the first bacterium described as a causal agent of plant disease by Burrill [1]. It was reported in North America and was later detected in New Zealand in 1920. In Europe, fire blight was reported in 1957 in the United Kingdom and has since been identified in most areas where susceptible hosts are cultivated. *Erwinia amylovora* is now present in more than 40 countries [2, 3], but it has not been recorded in South America, Asia, or sub-Saharan African countries. It has been recorded in some North African countries and only once in Australia [3, 4]. Bacterial fire blight in Kazakhstan was identified in 2010 for the first time [5]. It represents a threat to the pome fruit industry of all the countries. Details on geographical distribution can be found in the EPPO Plant Quarantine Data Retrieval system [6].

Field observations have already shown that Aport was one of the susceptible varieties to this disease. To localize and eliminate the disease, uprooting and burning of trees and all vegetation in this area within a radius of 30 kilometers will be required. This will result in multi-billion-dollar losses. Losses could amount to more than 50 percent of all fruit plantations in Kazakhstan, which could lead to an environmental disaster [7].

E. amylovora is highly virulent and capable of rapid systemic movement within plant hosts and of rapid dissemination among rosaceous species, including apple and pear trees, when environmental conditions are favorable. The internal movement of the pathogen through the vascular system of plants and the ability of the pathogen to infect flowers, actively growing shoots, and rootstocks makes the management of fire blight difficult [8, 9]. The first fire blight manifestation in Kazakhstan was in 2008, and by 2010 it began to cause significant damage to the apple and pear orchards of the republic. In some peasant farms of the Almaty region, the proportion of affected trees in apple orchards reached 50-60% or more with a high degree of symptom development. In terms of severity, fire blight has not equal among known diseases of fruit crops [10, 11].

Data on the resistance of domestic and foreign apple varieties to fire blight in Kazakhstan is extremely segmentary, which prevents us to recommend a suitable assortment for industrial and private orchards in regions with the higher risk of disease development.

Materials and research methods

The research was carried out in the field and in laboratory conditions. Route inspections of apple plantations to identify the causative agent of fire blight on apple varieties and rootstocks were carried out in large industrial orchards and farms of Turkistan, Zhambyl, and Almaty regions and collection plantations of Kazakh Research Institute of Fruits and Vegetables LLP, located in the Talgar district of Almaty region.

In order to detect the pathogen, the apple trees without symptoms and with highly expressed symptoms of fire blight were selected. Branches, leaves, and ovaries were taken from trees with symptoms of fire blight for microbiological studies.

For the timely detection of fire blight, regular inspections of apple plantations in the south and southeast of Kazakhstan were carried out during the growing season according to the methods for detecting and identifying the fire blight agent of fruit trees [12, 13]. For bacteriological analysis, confirming the presence of *Erwinia amylovora* in the plant, fresh samples were taken from the bark taken at the border of the canker, as well as from bacterial exudate, and bent tips of young shoots. The pathogenicity of the strains on young immature apple fruits was tested according to the White method. This test is one of the main ones in determining the causative agent of fire blight.

The degree of study of the topic. In terms of its damage to horticulture during the years of epiphytosis, fire blight is more harmful than all fruit diseases combined. According to its economic importance, this disease is recognized as the most dangerous in the world and is included in the EPPO A2 list [14, 15, 16]. Gradually spreading, it reached almost all continents. Its penetration into Europe dates back to 1957. Currently, there is an expansion of the disease around the globe, penetrating into the territory of more and more new countries. Such a widespread prevalence of fire blight, despite the difference in natural and climatic conditions of the countries where the disease is registered, indicates the ecological plasticity of the pathogen. Consequently, the threat of expanding the range of the disease will continue in the future. Despite numerous studies conducted in different countries, several issues of fruit crop varieties' resistance to fire blight have not been sufficiently studied. Data on the resistance of domestic and foreign apple varieties to fire blight in Kazakhstan is extremely segmentary, which prevents us to recommend a suitable assortment for industrial and private orchards in regions with the higher risk of disease development.

Analysis. The fire blight causative agent diagnosis will allow for assessing the level of infection and identifying resistant apple varieties for breeding and further reproduction. The cultivation of such varieties will reduce the pesticide rate, and obtain environmentally friendly products for fresh consumption and food production, including those based on organic production.

Results

A monitoring survey of several farms to identify the fire blight causative agent and sampling for a subsequent molecular genetic analysis was carried out on 53 apple varieties, including 21 zoned, 5 promising, and 27 introduced in Turkestan, Zhambyl, and Almaty regions and collection plantations of "Kazakh Research Institute of fruits and vegetables" LLP. Sampling was carried out in double and more replicates at 2 and more sampling points. Thorough analysis of the disease symptoms was carried out during inspection and samples of the affected tree organs (leaves, fruits, shoots, branches, bark) were selected.

Apple plantations of Almaty regions were examined in the farms of Baiseit, Kyzylsharyk, Koram, Malovodnoe villages in Enbekshikazakh district, and collectable plantations of "Kazakh Research Institute of fruits and vegetables" LLP in Talgar district. The apple plantations in the Turkistan region were examined in farms and production orchards of Akzhar and Sharbulak villages of Kazygurt region and Shakpak village of Tulkibas district. In Zhambyl region, there were examined apple orchards of Merke village in the Merken district. The results of apple varieties evaluation to fire blight are given in table 1.

Table 1
Evaluation of apple varieties to fire blight in the farms of the Turkestan, Zhambyl, and Almaty regions, 2021

Varieties	Almaty region	Turkistan region	Zhambyl region	Trees with symptoms
Zoned varieties				
Idared	+	+	+	+
Ainur	+	+	-	-
Aport	+	+	+	+
Bayterek	+	-	-	-
Voskhod	+	-	-	+
Gala	+	+	+	
Golden Delicious	+	+	+	+
Granny Smith	+	+	+	+
Danalyk	+	-	-	-
Zarya Alatau	+	-	-	-
Maksat	+	-	-	+
Mantet	+	-	-	-
Melba	+	+	-	-
Red Delicious	+	+	-	-
Renet Simirenko	-	+	-	-
Renet Burkhardt	+	-	-	-
Saltanat	-	+	-	-
Starkrimson	+	+	+	+

Talgarskoe	+	-	-	-
Fuji	+	+	+	+
Pestrushka	+	-	-	-
Promising varieties of domestic breeding				
Damira	+	-	-	-
Zharkyn	+	-	-	-
Yessen	+	-	-	-
Sarkyt	+	-	-	-
Rakhat	+	-	-	-
Introduced varieties				
Braeburn	+	-	-	-
Jeromine	+	+	+	-
Jonagold	+	+	-	-
Kandil Sinap	-	+	-	-
Quinte	+		+	-
Pink Lady	+	+	-	+
Pinova	+	+	-	+
Prima	+	-	-	-
Scarlet Spur		+	+	-
Stark's Earliest	+	-	-	-
Rashida	+	-	-	+
Sinap Almatinski	+	-	-	+
Konfetnoe	-	+	-	+
Diana	+	-	-	-
Red Chief	-	+	-	-
Elstar	+	-	-	-
Monroe	+	-	-	-
Red free	+	-	-	-
Lady Williams	+	-	-	-
Diana	+	-	-	-
Gala Mitch	+	-	-	-
Honeycrisp	+	-	-	-
Golden Spur	+	-	-	-
Korea	+	-	-	-
Red Topaz	+	-	-	+
Diligence	+	-	-	-
Santana	+	-	-	-

The presence of fire blight symptoms characteristic of apple tree was noted during a visual examination of the samples: drying of the tops of young shoots, the tips of which are bent in a hook-like manner, leaf necrosis, brown spots on immature fruits, which are gradually mummified, "marbling" on the bark cut, wedge-shaped ulcers on the bark, exudate on the affected organs (Figure 1).



Figure 1. Symptoms of a fire blight (a) drying out of the tops of young shoots, shepherd's crook; (b) release of bacterial exudate

According to the results of the surveys, a focal spread of the fire blight of fruit crops in the surveyed farms of Almaty, Turkestan, and Zhambyl regions was established. Due to the dry weather conditions observed during the 2021 growing season, there was noted a sharp decrease in the disease harmfulness compared to previous years. In order to control and exterminate the infection on farms, pruning and removal of trees, as well as treatments with copper-containing preparations, are used.

Surveys of apple plantations in the main horticulture production areas (south and southeast of the republic) showed that fire blight was quite widespread. In three surveyed farms of the Turkistan region, 6 released varieties out of 12 were with symptoms of fire blight damage, and out of 8 introduced varieties of foreign breeding, 3 were with symptoms of disease damage. In the Almaty region, in five surveyed farms out of 18 released varieties, 8 apple trees were damaged by fire blight, and out of 5 promising and 22 varieties of foreign selection, 5 were with symptoms of disease damage. In the Merke district of the Zhambyl region, out of 7 released and 3 foreign varieties, 6 varieties were found with a fire blight effect on an apple tree. In all surveyed farms of Almaty, Tukristan, and Zhambyl regions, apple varieties Idored, Aport, Voskhod, Maksat, Golden Delicious, Granny Smith, Pinova are most susceptible to fire blight, where the prevalence of the disease was 27-50%, with a degree of development – 9.0-16.2%, respectively.

Thus, in the surveyed production orchards and farms of Turkestan, Zhambyl, Almaty regions and collection plantations of "Kazakh Research Institute of fruits and vegetables" LLP, among 21 released varieties, apple trees damaged by fire blight was found on most varieties: Idored, Aport, Golden Delicious, Granny Smith, Maksat, Sunrise, Starkrimson, and Fuji. Of the 27 introduced varieties of foreign breeding, symptoms of the disease were noted on the apple varieties Pinova, Pink Lady, Rashida, Konfetnoye, Sinap Almaty, and Red Topaz. The promising domestic apple varieties like Damira, Zharkyn, Yesen, Sarkyt, Rakhmat were free of a fire blight symptom, which brings a significant interest in apple production.

In order to diagnose apple fire blight by isolating the causative agent of the disease in pure cultures, bacteriological analyzes of samples taken as a result of the examination were carried out in laboratory conditions. Samples were taken on 14 varieties with symptoms of the disease: Idored, Aport, Golden Delicious, Granny Smith, Maksat, Voskhod, Starkrimson, Fuji, Pinova, Pink Lady, Rashida, Candy, Sinap Almaty, Red Topaz.

The pathogenicity of the bacteria *E. amylovora* was isolated, identified, and characterized. The records of the bacteria grown on a nutrient medium result and description were carried out within 3-10 days. Colonies of *E. amylovora* on King B medium are off-white, rounded, smooth, flat to slightly convex. Good results were obtained by isolation on a Levan medium. Colonies on Levan medium are white, rounded, and smooth, the profile is from convex to drop-shaped with smooth edges, shiny, translucent, and size from 2 mm to 5 mm. Colonies on potato agar are off-white or yellow, round, smooth, flat to slightly convex, and punctate to 5 mm in size. The selected colonies were sifted into Petri dishes with the nutrient medium of King B and Levan. With the growth of the same type of colonies, they were re-seeded for further research.

As a result of the bacteriological analysis of the selected samples, 8 bacterial isolates were isolated from the varieties: Aport, Voskhod, Sinap Almaty, Maksat, Golden Delicious, Konfetnoye, Pinova, Pink Lady, which were similar in morphological and cultural characteristics to *Erwinia amylovora*, the causative agent of fire blight.

To comply with Koch's postulates and confirm the pathogenicity of bacteria, the test was carried out by the White method on immature apple fruits. For inoculation, the Pinova apple variety susceptible to *E. amylovora* was used. A suspension of bacteria (concentration 10 cells/ml) was applied to fresh incisions and pricks made with an entomological pin on the surface of a disinfected apple fruit under the skin, at different depths. Then the inoculated apple fruits were placed in a humidity chamber using closed desiccators with a sterile cotton pad. The control was individual apple fruits with sterile water applied to the incisions and injections. Fruits were incubated in a humidity chamber at 25°C for 3-7 days. Observations of the inoculated fruits showed that after 3 days necrotic spots appeared around the injection site and milky-white exudate was released at the injection sites. In the control, there were no ulcers at the site of inoculation or only a small necrotic ulcer was observed (Figure 2).

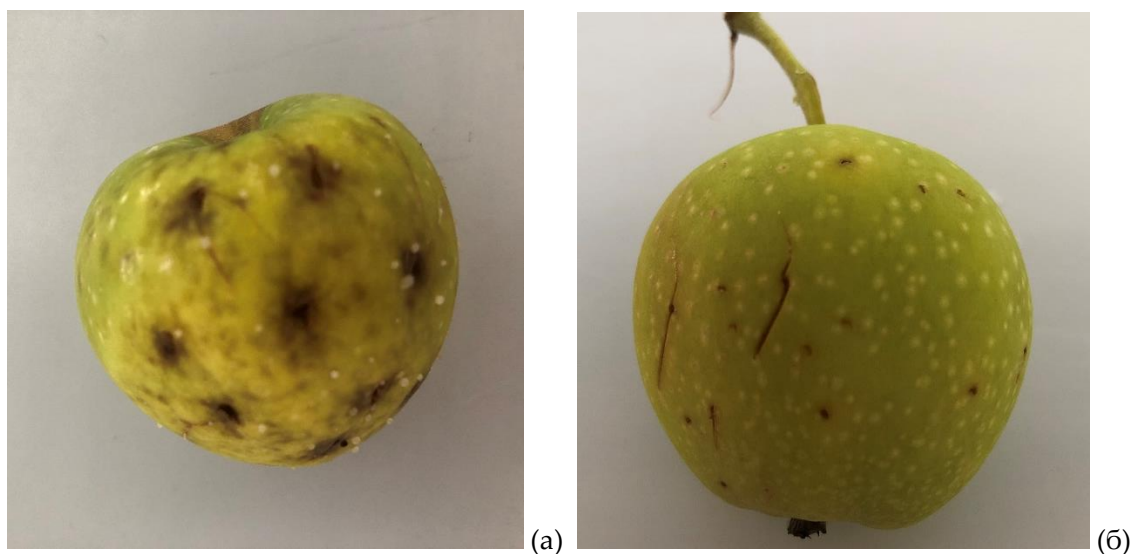


Figure 2. Testing the pathogenicity of *E. amylovora* on immature apple fruits: (a) inoculated fruits; (b) control without inoculation

Discussion

An increased level of resistance to diseases is one of the most important requirements for a modern variety of agricultural plants, including fruit ones. The problem at present is the search for fire-blight-resistant domestic and introduced varieties of apple trees, which does not allow us to recommend a suitable assortment for industrial and private gardens. Despite numerous studies conducted in different countries, a number of issues of fruit crop varieties' resistance to fire blight have not been sufficiently studied. The cultivation of such varieties will reduce the pesticide load and obtain environmentally friendly products for fresh consumption and food production, including those based on organic production. As a result of this work, the area of spread of fire blight in the orchards of Turkestan, Zhambyl, and Almaty regions was estimated and zoned and introduced apple tree varieties are identified as the most susceptible to disease. The disease-resistant promising apple varieties of domestic breeding such as Damira, Zharkyn, Yessen, Sarkyt, Rakhat were selected, which should be of a production considerable interest. The pathogenicity of the bacterium *E. amylovora* has been isolated, identified, and characterized. The fire blight causative agent was identified on the examined apple varieties on the basis of microbiological analysis. In the future, it is planned to identify genetically resistant apple varieties to the blight pathogen using modern molecular genetic methods based on DNA markers and develop recommendations for improving the breeding process and increasing the productivity of plantations.

Conclusion

As a result of a survey of apple plantations in the main industrial zone of horticulture (Turkestan, Zhambyl, Almaty regions), it was found that fire blight has become quite widespread. The most susceptible to bacterial blight among 53 zoned, promising, and introduced apple varieties were identified, which should be of considerable interest for apple production.

As a result of the bacteriological analysis of the selected samples, 8 bacterial isolates were extracted from the varieties: Aport, Voskhod, Sinap Almatinsky, Maksat, Golden Delicious, Candy, Pinova, Pink Lady, which, in morphological and cultural characteristics, were similar to *Erwinia amylovora*, the pathogen fire blight.

Testing the pathogenicity of bacteria on immature apple fruits showed positive test results confirming the presence of the bacteria *Erwinia amylovora*, the causative agent of fire blight.

Funding. The research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09259636).

Список литературы

1. Burrill T.J. New species of Micrococcus. American Naturalist. – 1883. – Vol. 17. – P. 319.
2. van der Zwet T. Present worldwide distribution of fire blight. Acta Horticulturae. – 2002. – Vol. 590. – P. 33-34.
3. *Erwinia amylovora*. [Distribution map]. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/DMPD/20173134801> (дата обращения: 20.12.2017).
4. Bonn W.G., van der Zwet T. Distribution and economic importance of fire blight. In: Fire Blight, The Disease and its Causative Agent *Erwinia amylovora* (Ed. Vanneste J). – 2000. – P. 37-53.
5. Fire blight. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.niizkr.kz/proekty/bakozhog/> (дата обращения: 02.02.2020).
6. Bonn W.G., van der Zwet T. Distribution and economic importance of fire blight. In Fire Blight: The Disease and Its Causative Agent, *Erwinia Amylovora*. – UK: CAB International, Wallingford, 2000.

– P. 37-53.

7. Zhilkishiev B. About fighting bacterial burn of fruit crops and melon fly. [Электронный ресурс] – URL: <https://parlam.kz/ru/blogs/zhilkishievb/Details/8/45978> (дата обращения: 22.02.2017).

8. Norelli J.L., Jones A.L., Aldwinckle H.S. Fire blight management in the twenty-first century: Using new technologies that enhance host resistance in apple. *Plant Dis.* – 2003. – Vol. 87. – P. 756-765.

9. Koczan J.M., Lenneman B.R., McGrath M.J., Sundin G.W. Cell surface attachment structures contribute to biofilm formation and xylem colonization by *Erwinia amylovora*. *Appl. Environ. Microbiol.* – 2011. – Vol. 77. – P. 7031-7039.

10. Лазарев А.М. Бактериальный ожог плодовых культур. [Электронный ресурс] – URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2014/%E2%84%961/2014/zashhita-rastenij/bakterialnyij-ozhog-plodovyix-kultur.html> (дата обращения: 10.12.2021).

11. Дренова Н.В., Исин М.М., Джаймурзина А.А., Жармухамедова Г.А., Айтқулов А.К. Бактериальный ожог плодовых культур в республике Казахстан // Карантин растений. Наука и практика. – 2013. – № 1(3). – С. 39-43.

12. Методы выявления и идентификации возбудителя ожога плодовых деревьев // Межгосударственный стандарт. Карантин растений. – Москва, 2016. – С. 12-22.

13. Diagnostic protocols for regulated pests // International Convention on Plant Protection and Quarantine. Interstate standard for phytosanitary measures. – 2018. – Vol. 27. – P. 14.

14. Standard of diagnostic protocol for *Erwinia amylovora* EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). – 2013. – Vol. 43(1). – P. 21-45. DOI: 10.1111/epp.12019.

15. van der Zwet T., Beer S.V. Fire Blight-Its Nature, Prevention, and Control: A Practical Guide to Integrated Disease Management. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin. – 1991. – Vol. 631. – P. 83.

16. Braun P.C. Hildebrand P.D. Epidemiology of fire blight in floricanе fruiting red raspberries caused by *Erwinia amylovora* // *Can. J. Plant Pathol.* – 2006. – Vol. 28(1). – P. 95-98.

Г.Н. Кайрова¹, З.Б. Сапахова², Н. Дәулет¹, Д. Абсатарова¹

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

²Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан

Бағбандықтың негізгі өнеркәсіптік аймағында (Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-шығысы) алма ағашының әртүрлі сорттарында бактериялық күйіктің таралуы

Аңдатпа. Қазақстанда, әлемнің көптеген елдеріндегідей, жеміс дақылдарының ішіндегі ең маңыздысы алма ағашы болып табылады. 45,0 мың га аймақта егілетін жеміс дақылдары бақтарының 77%-ы алма бақтары. Жеміс-жидек дақылдарының, атап айтқанда, алма ағаштарының бактериялық күйігі Республика бақтарында тұрақты қауіп төндіретін және тез таралатын ең зиянды жұқпалы аурулардың бірі болып табылады. Қазақстан аумағында бактериялық күйіктің одан әрі таралуына жол бермеу үшін ауруға төзімді жеміс ағаштарының сорттарын өсіру өте маңызды. Мақалада негізгі өнеркәсіптік бағбандық аймақтың (Түркістан, Жамбыл, Алматы облыстары) плантацияларындағы аудандастырылған, интродукцияланған және перспективалы алма сорттарына бактериалды өрттің таралуы бойынша нәтижелер берілген. Таңдалған сынамаларды бактериологиялық талдау нәтижесінде морфологиялық және культуралдық белгілері бойынша Апорт, Восход, Синап Алматинский, Мақсат, Голден Делишес, Конфетное, Пинова, Пинк Леди сорттарынан бактериялық күйік қоздырғышына ұқсас 8 изоляты бөлініп алынды. Піспеген алма жемістеріне жүргізілген бактериалды патогендік сынама, бактериялық күйік қоздырғышы *Erwinia amylovora* бактериясының болуын растайтын оң сынақ нәтижелерін көрсетті.

Түйін сөздер: алма ағашы, ауру, бактериалық күйік, фитопатологиялық мониторинг, сорттар, *Erwinia amylovora*, сорттардың төзімділігі, аурудың таралуы.

Г.Н. Кайрова¹, З.Б. Сапахова², Н. Дәулет¹, Д. Абсатарова¹

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

²Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

Распространенность бактериального ожога на различных сортах яблони в основной промышленной зоне садоводства (юг и юго-восток Казахстана)

Аннотация. В Казахстане, как и в большинстве стран мира, наиболее значимой из плодовых культур является яблоня. Из 45,0 тысячи га садов, занятых семечковыми и косточковыми культурами, 77% составляют яблоневые сады. Бактериальный ожог плодовых культур, в частности яблони, является одним из наиболее вредоносных инфекционных заболеваний, стремительно распространяющихся и создающих постоянную угрозу насаждениям республики. Во избежание дальнейшего распространения бактериального ожога на территории Казахстана очень важно выращивать устойчивые к данному заболеванию сорта плодовых деревьев. В статье изложены результаты по распространению бактериального ожога на районированных, интродуцированных и перспективных сортах яблони в насаждениях основной промышленной зоны садоводства (Туркестанской, Жамбылской, Алматинской областей). В результате бактериологического анализа отобранных образцов было выделено 8 изолятов бактерий с сортов Апорт, Восход, Синап Алматинский, Максат, Голден Делишес, Конфетное, Пинова, Пинк Леди, которые по морфологическим и культуральным признакам были схожи с возбудителем бактериального ожога. Проверка патогенности бактерий на незрелых плодах яблони показала положительные результаты теста, подтверждающие наличие бактерии *Erwinia amylovora*, возбудителя бактериального ожога.

Ключевые слова: яблоня, болезнь, бактериальный ожог, фитопатологический мониторинг, сорта, *Erwinia amylovora*, устойчивость сортов, распространенность болезни.

References

1. Burrill T.J. New species of Micrococcus. American Naturalist, 17, 319 (1883).
2. van der Zwet T. Present worldwide distribution of fire blight. Acta Horticulturae, 590, 33-34 (2002).
3. *Erwinia amylovora*. [Distribution map]. [Electronic resource] – Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/DMPD/20173134801> (Accessed: 20.12.2017).
4. Bonn W.G., van der Zwet T. Distribution and economic importance of fire blight. In: Fire Blight, The Disease and its Causative Agent *Erwinia amylovora* (Ed. Vanneste J), 37-53 (2000).
5. Fire blight. [Electronic resource] – Available at: <https://www.niizkr.kz/proekty/bakozhog/> (Accessed: 02.02.2020).
6. Bonn W.G., van der Zwet T. Distribution and economic importance of fire blight. In Fire Blight: The Disease and Its Causative Agent, *Erwinia Amylovora*, UK: CAB International, Wallingford, 37-53 (2000).
7. Zhilkishiev B. About fighting bacterial burn of fruit crops and melon fly. [Electronic resource] – Available at: <https://parlam.kz/ru/blogs/zhilkishievb/Details/8/45978> (Accessed: 22.02.2017).
8. Norelli J.L., Jones A.L., Aldwinckle H.S. Fire blight management in the twenty-first century: Using new technologies that enhance host resistance in apple. Plant Dis., 87, 756-765 (2003).

9. Koczan J.M., Lenneman B.R., McGrath M.J., Sundin G.W. Cell surface attachment structures contribute to biofilm formation and xylem colonization by *Erwinia amylovora*. Appl. Environ. Microbiol., 77, 7031-7039 (2011).
10. Lazarev A.M. Bakterial'nyj ozhog plodovyh kul'tur [Bacterial burn of fruit crops]. [Electronic resource] – Available at: <https://agri-news.ru/zhurnal/2014/%E2%84%961/2014/zashhita-rastenij/bakterialnyij-ozhog-plodovyix-kultur.html> (Accessed: 10.12.2021).
11. Drenova N.V., Isin M.M., Dzhajmurzina A.A., ZHarmuhamedova G.A., Ajtkulov A.K. Bakterial'nyj ozhog plodovyh kul'tur v respublike Kazahstan, Karantin rastenij. Nauka i praktika [Bacterial burn of fruit crops in the Republic of Kazakhstan, Plant quarantine. Science and practice], 1(3), 39-43 (2013). [in Russian]
12. Metody vyyavleniya i identifikacii vozbuditelya ozhoga plodo-vyh derev'ev, Mezghosudarstvennyj standart. Karantin rastenij [Methods for detection and identification of the causative agent of fruit tree burn, Interstate standard. Plant quarantine] (Moskva, 2016, 12-22 s.) [Moscow, 2016, 12-22 p.]. [in Russian]
13. Diagnostic protocols for regulated pests, International Convention on Plant Protection and Quarantine. Interstate standard for phytosanitary measures, 27, 14 (2018).
14. Standard of diagnostic protocol for *Erwinia amylovora* EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 43(1), 21-45 (2013). DOI: 10.1111/epp.12019.
15. van der Zwet T., Beer S.V. Fire Blight-Its Nature, Prevention, and Control: A Practical Guide to Integrated Disease Management. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin, 631, 83 (1991).
16. Braun P.C. Hildebrand P.D. Epidemiology of fire blight in floricanne fruiting red raspberries caused by *Erwinia amylovora*, Can. J. Plant Pathol., 28(1), 95-98 (2006).

Information about authors:

Kairova G.N. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Academician of MAS, Head of the Department of Plant Protection and Quarantine, Kazakh National Agrarian Research University, 8 Abay ave., Almaty, Kazakhstan.

Sapakhova Z.B. – Ph.D., Lead Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev str., Almaty, Kazakhstan.

Daulet N. – Ph.D. student, Junior Researcher, Research Institute of Agro-Innovation and Ecology. Kazakh National Agrarian Research University, 8 Abay ave., Almaty, Kazakhstan.

Absatarova D. – Ph.D., Senior Researcher, Research Institute of Agro-Innovation and Ecology. Kazakh National Agrarian Research University, 8 Abay ave., Almaty, Kazakhstan.

Кайрова Г.Н. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, ҚР АШҒА академигі, «Өсімдік қорғау және карантин» кафедрасының меңгерушісі, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан.

Сапахова З.Б. – PhD докторы, жетекші ғылыми қызметкер, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Тимирязев көшесі, 45, Алматы, Қазақстан.

Дәулет Н. – PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер, Агроинновация және экология ғылыми-зерттеу институты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан.

Абсатарова Д. – PhD докторы, аға ғылыми қызметкер, Агроинновация және экология ғылыми-зерттеу институты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан.

И.И. Темрешев¹, Б.К. Копжасаров¹, З.Б. Бекназарова^{1*},
А.М. Сарбасова¹, А.Ш. Джанбатыров²

¹Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: zibash_bek@mail.ru

К изучению паукообразных (Arachnida) – энтомофагов чешуекрылых вредителей яблони юго-востока Казахстана

Аннотация. В яблоневых садах юго-востока Казахстана отмечены 81 вид и 59 родов паукообразных, относящихся к 4 отрядам (*Pseudoscorpionida*, *Trombidiformes*, *Opiliones* и *Aranei*) и 19 семействам. Доминирующим по разнообразию является отряд пауков (*Aranei*) – 16 семейств, 54 рода и 73 вида, остальные отряды включают по одному семейству и 1-2 рода и вида. По числу родов и видов доминантом является семейство *Araneidae* – 11 видов и 9 родов. За ним следуют семейства *Thomisidae* (9 родов и 10 видов), *Salticidae* (8 родов и 9 видов), *Lycosidae* (5 родов и 9 видов), *Philodromidae* (4 рода и 9 видов) и *Theridiidae* (3 рода и 5 видов) и *Gnaphosidae* (4 рода и 4 вида). Прочие семейства представлены 1-2-мя родами и видами. В целом фауна паукообразных яблоневых насаждений, в которых применяются обработки химическими пестицидами, гораздо более обеднена (в 2 и более раза) по сравнению с садами без таких обработок и естественными биотопами. Приведены данные по поедаемости гусениц вредителей разными видами пауков при лабораторном содержании. *Ataurobius erberi* (Keyserling, 1863) за сутки поедает до 10 гусениц яблонной плодовой гусеницы *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) или до 5 гусениц фиолетово-серой совки *Orthosia incerta* (Hufnagel, 1766). *Steatoda paykulliana* (Walckenaer, 1806) за сутки уничтожал в среднем 5 гусениц яблонной плодовой гусеницы или 3 гусеницы совки. Более мелкие виды, такие как *Diaea suspiciosa* O.P.-Cambridge, 1885, *Xysticus pseudocristatus* Azarkina & Logunov, 2001 и *Evarcha arcuata* (Clerck, 1758), поедали 2-3 гусеницы в сутки. Впервые в яблоневом саду отмечен паук *Olios sericeus* (Kroneberg, 1875), в Казахстане этот вид ранее отмечался как синантропный.

Ключевые слова: паукообразные, *Arachnida*, фауна, энтомофаги, яблоня, юго-восток, Казахстан.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-41-56

Введение

Представители класса Паукообразные, или арахниды (*Arachnida*) относятся к подтипу хелицерных (*Chelicerata*) типа членистоногих (*Arthropoda*). На данный момент известно более 114 000 видов паукообразных. Наибольшее количество из них принадлежит к отрядам пауков (*Aranei*) - 44 863 вида, и клещей (*Acari*) - 55 214 видов [1]. Большинство паукообразных является хищниками, исключение составляют растительноядные клещи, а также некоторые пауки-скакуны, периодически употребляющие растительную пищу [2]. В силу этого они являются одной из хозяйственно важных групп беспозвоночных животных, в больших количествах истребляя разнообразных вредителей сельского и лесного хозяйства. Важным является то обстоятельство, что пауки уничтожают вредных насекомых не только на земле, но и на разных ярусах растительности. Также они в массе поедают кровососущих насекомых – переносчиков инфекционных заболеваний, и бытовых вредителей – тараканов, мух и др. [3-6]. Однако жертвами пауков становятся и разнообразные полезные насекомые – энтомофаги и опылители (стрекозы, сетчатокрылые, наездники, мухи-журчалки, пчелы, осы, муравьи и т.п.) [7]. По этой причине изучение арахнофауны различных агро- и урбоценозов является одной из обязательных задач при изучении их биоразнообразия, что подтверждается публикациями в изданиях ближнего и

дальнего зарубежья [8-16]. Также пауки могут быть использованы в качестве модельных видов для изучения состояния окружающей среды, например, для оценки токсического воздействия пестицидов на биоценоз и его отдельные компоненты [17-20].

Яблоневые сады являются искусственным биоценозом, не обладающим достаточной стабильностью. Для поддержания его в равновесном состоянии необходимо присутствие среди его компонентов всех групп естественных регуляторов вредных организмов, среди которых пауки занимают далеко не последнее место. За рубежом эта тема считается достаточно актуальной, и по ней защищаются диссертации на соискание степени доктора PhD [28, 29]. Особое внимание в данных исследованиях было уделено системе, возникающей в садах в зимний период с участием активных зимой пауков *Philodromus* spp. (Philodromidae) и *Anypaena accentuata* (Walckenaer, 1802) (Anypaenidae), а также вредителя листоблошки *Cacopsylla pyri* (Linnaeus, 1758). Выяснено, что активные зимой пауки в садах в основном предпочитают охотиться на вредителей и значительно сокращают популяцию *C. pyri* зимой и ранней весной. Однако их эффективность снижается из-за внутривидового каннибализма. Его можно уменьшить, установив полосы из гофрированного картона вокруг ствола, которые служат убежищем для мелких пауков. Результаты работы показывают, что сообщества активных зимой пауков могут служить высокоэффективными агентами биоконтроля в садах. Отмечено, что значение разных видов пауков зависит от стратегии охоты, размеров, стадии развития, пищевых объектов и устойчивых индивидуальных различий в поведении. В Казахстане ранее изучением арахнофауны яблони активно занималась группа ученых во главе с Ч.К. Тарабаевым [30-32]. Ими были получены достаточно интересные результаты, в т.ч. и по оценке деятельности пауков как энтомофагов вредителей яблони. Так, для паука *Phylloneta impressa* (L. Koch, 1881) (= *Theridion impressum* L. Koch, 1881) было установлено истребление 10-11-й части насекомых, обитающих в зоне жизнедеятельности паука, что весьма значительно. Однако после безвременной кончины Чингиса Каримовича в данных исследованиях наступил долгосрочный перерыв. До последнего времени специального изучения видового состава пауков яблоневых садов и их хозяйственного значения на территории республики не проводилось. Целью нашей работы было уточнить современный видовой состав паукообразных в яблоневых садах юго-востока Казахстана, установить зависимость их видового разнообразия от химических обработок против вредителей яблони и выяснить значение в качестве энтомофагов вредных чешуекрылых.

Материал и методы

Материалом для работы послужили сборы авторов, сделанные в яблоневых садах на юго-востоке Казахстана (г. Алматы, Алматинская область, Панфиловский район, ТОО «БайсеркеАгро», Карасайский район, КХ «Олжас», КХ «Алатау», ГНПП «Иле-Алатау», ущелья Аксай, Тургень и Малоалматинское) в рамках выполнения проекта по разработке технологии биологического контроля вредителей яблони. При проведении исследований чешуекрылых вредителей яблони проводились также учеты видового состава и численности различных энтомофагов, в т.ч. и паукообразных. Данные по их численности и видовому составу получали общепринятыми методами – ручной сбор на стволах и под корой деревьев, кошение сачком растительности и раскопки почвы на пробных площадках по 0,25 м² [21]. Отдельные виды также собирались в ловчих поясах и феромонных ловушках на стволах яблонь, использовавшихся для учёта чешуекрылых вредителей и их энтомофагов. Кроме того, использовались почвенные ловушки оригинальной модификации [22]. Собранных паукообразных подсчитывали и затем фиксировали для последующего определения в 70%-ном спирте. Для идентификации видов и определения информации об их биоэкологических особенностях и распространении использовались источники из списка литературы [23-27]. Координаты мест сбора паукообразных в яблоневых садах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Координаты мест сбора материала по паукообразным

Название организации, хозяйства	Широта (N)	Долгота (С)	Высота, м над уровнем моря
ТОО «Байсерке Агро»	43°40'645"	77°07'109"	630,8857
КХ «Жемис»	43°45'885"	77°69'642"	783,0051
КХ «Суздальева О.В.»	43°49'948"	77°55'55"	658,2591
КХ «Алатау»	43°10'44.0"	76°43'43.3"	896,15
КХ «Олжас»	43°09'32.6"	76°33'33.8"	898,75
ГНПП «Иле Алатау», Аксайское ущелье	43°07'218"	76°47'858"	1379,525
ГНПП «Иле Алатау», Малое Алматинское ущелье	43°10'33"	77°00'43"	1313
ГНПП «Иле Алатау», Тургеньское ущелье	43°20'9.32"	77°37'0.77"	1161
г. Алматы, парк «Достык»	43°13'32.43"	76°55'38.68"	879

Результаты

В ходе проведенных обследований в насаждениях культурной яблони и местах произрастания яблони Сиверса был собран материал по паукообразным. Список выявленных видов приведен ниже.

Некоторые из обнаруженных в яблоневых садах видов паукообразных представлены на фотографиях (рис. 1-26).

Отряд Pseudoscorpionida – Ложноскорпионы

Семейство Chernetidae – Чернетида

Chernes cimicoides (Fabricius, 1793) – Ложноскорпион клоповидный

Отряд Trombidiformes – Тромбидиформные клещи

Семейство Trombidiidae – Клещи-краснотелки, или Бархатные клещи

Trombidium holosericeum (Linnaeus, 1758) – Краснотелка шелковистая

Отряд Opiliones – Сенокосцы

Семейство Phalangidae – Фалангииды

Hemolophus almasyi Roewer, 1911 – Сенокосец Алмаши

Hemolophus charitonovi (Gricenko, 1972) – Сенокосец Харитонов

Отряд Aranei – Пауки

Семейство Lycosidae – Пауки-волки

Alopecosa aculeata (Clerck, 1758) – Алопекоза жалящая

Alopecosa cuneata (Clerck, 1758) – Алопекоза клинообразная

Arctosa leopardus (Sundevall, 1833) – Арктоза леопардовая

Cercidia prominens (Westring, 1851) – Церцидия выпуклая

Pardosa agrestis (Westring, 1861) – Пардоза полевая, или сельская

Pardosa monticola (Clerck, 1757) – Пардоза горная

Pardosa paludicola (Clerck, 1757) – Пардоза болотная

Trochosa ruricola (De Geer, 1778) – Трохоза полевая

Trochosa terricola (Thorell, 1856) – Трохоза наземная

Xerolycosa nemoralis (Westring, 1861) – Ксероликоза лесная

Семейство Thomisidae – Пауки-бокоходы

Diaea suspiciosa O.P.-Cambridge, 1885 – Дея великолепная

- Ebrechtella tricuspидata* (Fabricius, 1775) – Мизуменопс бурый
Misumena vatia (Clerck, 1758) – Паук цветочный, мизумена косолапая
Ozyptila praticola (C. L. Koch, 1837) – Озиптила луговая
Spiracme striatipes (L. Koch, 1870) – Ксистикус сморщенный
Synema utotchkini Marusik & Logunov, 1995 – Синема Уточкина
Tmarus piger (Walckenaer, 1802)
Thomisus onustus Walckenaer, 1805 – Томизус изменчивый
Xysticus pseudocristatus Azarkina & Logunov, 2001 – Ксистикус ложный гребенчатый
Xysticus robustus (Hahn, 1832) – Ксистикус массивный
Семейство Philodromidae – Крабовые пауки
Philodromus cespitum (Walckenaer, 1802) – Филодромус дерновый
Philodromus collinus (C. L. Koch, 1835) – Филодромус возвышенный
Philodromus emarginatus (Schrank, 1803) – Филодромус неокаймленный
Philodromus margaritatus (Clerck, 1757) – Филодромус жемчужный
Philodromus poecilus (Thorell, 1872) – Филодромус темный
Rhysodromus histrio (Latreille, 1819)
Tibellus oblongus (Walckenaer, 1802) – Тибеллюс узкий
Thanatus arenarius (Thorell, 1872) – Танатус песчаный
Thanatus formicinus (Clerck, 1758) – Танатус муравьиный
Семейство Tetragnathidae – Тетрагнатида
Tetragnatha montana (Simon, 1874) – Тетрагната горная
Tetragnatha nigrita (Lendl, 1886) – Тетрагната черная
Семейство Araneidae – Кругопряды
Aculepeira armida (Audouin, 1826)
Aculepeira ceropegia (Walckenaer, 1802) – Кругопряд желтопятнистый, восковик
Agalenatea redii (Scopoli, 1763)
Araniella cucurbitina (Clerck, 1757) – Крестовик тыквовидный
Araneus angulatus (Clerck, 1758) – Крестовик угловатый
Araneus diadematus (Clerck, 1758) – Крестовик обыкновенный
Argiope bruennichi (Scopoli, 1772) – Аргиопа Брюнниха, паук-оса
Hypsosinga sanguinea (C.L. Koch, 1844) – Гипсосинга красноватая
Larinioides patagiatus (Clerck, 1757) – Крестовик окаймленный
Mangora acalypha (Walckenaer, 1802) – Пчелосос негаданный
Neoscona adianta (Walckenaer, 1802)
Семейство Uloboridae – Улобориды
Uloborus walckenaerius Latreille, 1806
Семейство Gnaphosidae – Гнафозиды
Gnaphosa lucifuga (Walckenaer, 1802) – Гнафоза полуночница
Haplodrassus signifer (C.L.Koch, 1839)
Micaria pygmaea Kroneberg, 1875 – Микария пигмей
Zelotes latreillei (Simon, 1878) – Зелот Латрейлля
Семейство Pisauridae – Пизауриды
Pisaura mirabilis (Clerck, 1757) – Пизаура удивительная
Семейство Theridiidae – Тередииды
Enoplognatha ovata (Clerck, 1757) – Эноплогната овальная
Phylloneta impressa (L. Koch, 1881) – Теридион вдавленный
Steatoda albomaculata (De Geer, 1778) – Стеатода белопятнистая
Steatoda grossa (C.L. Koch, 1838) – Стеатода крупная, или ложная вдова
Steatoda paykulliana (Walckenaer, 1806) – Стеатода Пайкулля, или ложный каракурт

Семейство Salticidae – Скакунчики

Evarcha arcuata (Clerck, 1758) – Эварха радужная

Heliophanus auratus (C. L. Koch, 1835) – Гелиофанус золотистый

Heliophanus potanini (Schenkel, 1963) – Гелиофанус Потанина

Mogrus neglectus (Simon, 1868)

Neon levis (Simon, 1871)

Pellenes seriatus (Thorell, 1875)

Philaeus chrysops (Poda, 1761) – Филеус золотоглазый

Phlegra fasciata (Hahn, 1826) – Флегра полосатая

Rafalus variegatus (Kroneberg, 1875) – Рафалус изменчивый

Семейство Titanoecidae – Пауки-Титанециды

Titanoeca quadriguttata (Hahn, 1833) – Титаноека четырехпятнистая

Titanoeca tristis (L. Koch, 1872) – Титаноека печальная

Семейство Oxyopidae – Пауки-рыси

Oxyopes globifer Simon, 1876 – Оксипес шароносный

Oxyopes heterophthalmus (Latreille, 1804) – Оксипес разноглазый

Oxyopes ramosus (Martini et Goeze, 1778) – Оксипес ветвистый

Oxyopes takobius Andreeva & Tyschchenko, 1969

Семейство Linyphiidae – Линифиды

Linyphia hortensis (Sundevall, 1830) – Линифия садовая

Nerienne clathrate (Sundevall, 1830) – Нериена решетчатая

Agelenidae – Воронковые пауки

Tegenaria domestica (Clerck, 1757) – Домовый паук, тегенария домовая

Семейство Sparassidae – Гигантские крабовые пауки

Micrommata virescens (Clerck, 1757) – Микроматта зеленоватая

Olios sericeus (Kroneberg, 1875) – Коричневый паук-охотник

Семейство Amaurobiidae – Пауки-амауробииды

Amaurobius erberi (Keyserling, 1863) – Амауробиус Эрбера



Рисунок 1. *Chernes cimicoides*



Рисунок 2. *Trombidium holosericeum*



Рисунок 3. *Homolophus almasyi*



Рисунок 4. *Homolophus charitonovi*



Рисунок 5. *Pardosa agrestis*



Рисунок 6. *Trochosa terricola*



Рисунок 7. *Ebrechtella tricuspidata*



Рисунок 8. *Xysticus pseudocristatus*



Рисунок 9. *Spiracme striatipes*



Рисунок 10. *Misumena vatia*



Рисунок 11. *Philodromus cespitum*



Рисунок 12. *Thanatus arenarius*



Рисунок 13. *Thanatus formicinus*



Рисунок 14. *Philodromus roecilus*



Рисунок 15. *Philodromus margaritatus*



Рисунок 16. *Aculepeira cerropegia*

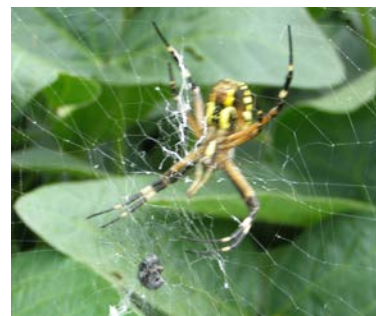


Рисунок 16. *Argiope bruennichi*



Рисунок 17. *Agalenatea redii*



Рисунок 18. *Zelotes latreillei*



Рисунок 19. *Pisaura mirabilis*



Рисунок 20. *Steatoda albomaculata*



Рисунок 21. *Steatoda paykulliana*



Рисунок 22. *Heliophanus potanini*



Рисунок 23. *Rafalus variegatus*



Рисунок 24. *Micrommata virescens*



Рисунок 25. *Olios sericeus*



Рисунок 26. *Amaurobius erberi*

Таксономический анализ собранных паукообразных приведен в таблице 2.

Таблица 2

Таксономический состав паукообразных яблоневых насаждений

Отряд, семейство	Число родов	%	Число видов	%
Pseudoscorpionida	1	1,69	1	1,23
Chernetidae	1	1,69	1	1,23
Trombidiformes	1	1,69	1	1,23
Trombidiidae	1	1,69	1	1,23
Opiliones	1	1,69	2	2,46
Phalangidae	1	1,69	2	2,46
Aranei	54	91,53	73	90,12
Lycosidae	6	10,17	10	12,35
Thomisidae	9	15,25	10	12,35
Philodromidae	4	6,78	9	11,11
Tetragnathidae	1	1,69	2	2,46
Araneidae	9	15,25	11	13,58
Uloboridae	1	1,79	1	1,23
Gnaphosidae	4	6,78	4	4,94
Pisauridae	1	1,69	1	1,23
Theridiidae	3	5,08	5	6,17
Salticidae	8	13,56	9	11,11
Titanoecidae	1	1,69	2	2,74
Oxyopidae	1	1,69	3	3,69

Linyphiidae	2	3,38	2	2,46
Agelenidae	1	1,69	1	1,23
Amaurobiidae	1	1,69	1	1,23
Sparassidae	2	3,38	2	2,46
Итого	59	100	81	100

Как видно из данных таблицы 2, доминирующим по числу видов является отряд Aranei, остальные отряды включают 1-2 вида. По числу родов и видов преобладает семейство Araneidae. За ним следуют семейства Thomisidae, Lycosidae, Salticidae, Philodromidae, Gnaphosidae и Theridiidae. Остальные семейства представлены 1-2-мя родом и видом. Почти треть видового разнообразия отряда приходится на 5 семейств – Araneidae, Thomisidae, Salticidae, Lycosidae и Philodromidae. В количественном соотношении при проведении учетов преобладали те же 5 семейств – Araneidae (28,2 %), Thomisidae (22,3 %), Salticidae (13,4 %) Philodromidae (11, 4 %), Lycosidae (8,2 %) и Theridiidae (7,2 %), но к ним прибавляются также Oxyopidae (3,1 %), Pisauridae (2,2 %) и Linyphiidae (1,8 %). Доля прочих составляла около 1 %. Из них доминировали по численности *Diaea suspiciosa*, *Ebrechtella tricuspидата*, *Spiracme striatipes*, *Xysticus pseudocristatus*, *Pardosa agrestis*, *Heliophanus potanini*, *Evarcha arcuata*, *Rafalus variegatus*, *Philodromus poecilus*, *Ph. histrio*, *Ph. cespitum*, *Oxyopes heterophthalmus*, *Aculepeira ceropegia*, *Araniella cucurbitina*, *Theridion impressum* и *Pisaura mirabilis*. Из других паукообразных высокую численность имел сенокосец *Homolophus almasyi*, однако он встречался только в садах, не подвергавшихся обработке химическими препаратами и в Иле-Алатауском ГНПП, как и ложноскорпион *Chernes cimicoides*. В целом в яблоневых садах с обработками химическими пестицидами юго-востока Казахстана видовое разнообразие паукообразных сильно обеднено (в 2 и более раза) по сравнению с естественными биотопами и необработываемыми садами (таблица 3).

Таблица 3

Количество выявленных таксонов паукообразных на исследованных участках яблоневых садов и естественных биотопов Алматинской области

Отряды	Сады без обработок и естественные биотопы			Сады с применением химических пестицидов		
	Семейства	Рода	Виды	Семейства	Рода	Виды
Pseudoscorpionida	1	1	1	-	-	-
Trombidiformes	1	1	1	1	1	1
Opiliones	1	1	2	-	-	-
Aranei	16	54	73	8	22	25
Всего	19	57	77	9	23	26

Во время полевых наблюдений было отмечено, что в ловчих поясах, в которые заселялись пауки, численность гусениц яблонной плодовой гусеницы *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) и других вредных чешуекрылых снижалась до минимума. В некоторых случаях, например при заселении ловчих поясов пауками *Amaurobius erberi* (рис. 26) в Аксайском ущелье, гусеницы чешуекрылых в них практически отсутствовали. При этом в феромонные ловушки, установленные в этом же ущелье, попадалось до 60 штук бабочек яблонной плодовой гусеницы, а при обследовании было отмечено поражение ею 70 % плодов яблони Сиверса, т.е. численность вредителя в природе была высокой.

В лабораторном эксперименте при содержании в садке 1 особь *A. erberi* за сутки поела до 10 гусениц яблонной плодовой гусеницы или до 5 гусениц фиолетово-серой совки *Orthosia incerta*

(Hufnagel, 1766) (данный вид вредных чешуекрылых в текущем году также присутствовал в массовом количестве в обследованных станциях). Паук *Steatoda paykulliana*, также охотно селящийся в ловчих поясах (рис. 21), в садке за сутки уничтожал в среднем 5 гусениц яблонной плодовой гусеницы или 3 гусеницы фиолетово-серой совки. Более мелкие виды, такие как *Diaea suspiciosa*, *Xysticus pseudocristatus* и *Evarcha arcuata*, поедали 2-3 гусеницы в сутки (таблица 4).

Таблица 4

Суточное потребление гусениц вредных чешуекрылых разными видами пауков

Количество съеденных гусениц, экз.										
Вид чешуекрылого	<i>Cydia pomonella</i>					<i>Orthosia incerta</i>				
	1	2	3	4	Среднее значение	1	2	3	4	Среднее значение
<i>Amaurobius erberi</i>	10	8	9	10	6,75	4	4	5	5	4,5
<i>Steatoda paykulliana</i>	5	5	4	5	4,75	3	3	3	2	2,75
<i>Diaea suspiciosa</i>	2	2	3	3	2,5	2	1	2	3	2,25
<i>Xysticus pseudocristatus</i>	3	2	2	3	2,5	1	2	3	2	2
<i>Evarcha arcuata</i>	3	3	3	2	2,75	3	2	1	3	2,25

Интересным фактом является находка в яблоневом саду паука *Olios sericeus* (рис. 25). В Казахстане данный вид был впервые отмечен как синантропный, обитающий в зданиях [33]. Нами он был найден 13.07.2021 в саду КХ «Олжас» как на стволах яблонь, так и в феромонных ловушках, куда вероятно был привлечен попавшими туда бабочками яблонной плодовой гусеницы. Из других арахнид в феромонных ловушках неоднократно отмечались сенокосцы *Homolophus charitonovi* и *H. almasyi*, и пауки *Pardosa agrestis*, *Heliophanus potanini*, *Evarcha arcuata*.

Выводы

Всего в яблоневых садах юго-востока Казахстана были отмечены 81 вид и 59 родов паукообразных, относящихся к 4 отрядам и 19 семействам. Доминирующим является отряд пауков (Aranei) – 16 семейств, 54 рода и 73 вида, остальные отряды включают по одному семейству и 1-2 рода и вида. Доминирующим по разнообразию из них является семейство Araneidae – 11 видов и 9 родов. За ним следуют семейства Thomisidae (9 родов и 10 видов), Salticidae (8 родов и 9 видов), Lycosidae (6 родов и 10 видов), Philodromidae (4 рода и 9 видов), Theridiidae (3 рода и 5 видов) и Gnaphosidae (4 рода и 4 вида). Прочие семейства представлены 1-2-мя родами и видами. В целом фауна паукообразных яблоневых насаждений, в которых применяется обработка химическими пестицидами, гораздо более обеднена по сравнению с садами без таких обработок и естественными биотопами. Поскольку паукообразные довольно эффективно уничтожают многих вредных насекомых, требуется проведение дальнейших исследований в данном направлении. Регулярные обработки химическими пестицидами губительно действуют не только на вредителей, но на представителей полезной фауны, в т.ч. и на пауков, а также вредят здоровью человека и животных, загрязняют почву, воду и растительность своими остатками. Таким образом, в яблоневых садах необходимо разрабатывать и применять методы биологического контроля численности вредных организмов, более подходящие как для сохранения биоразнообразия, так и в отношении охраны здоровья людей и общей экологической безопасности.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения проекта АР 09259748 «Разработка технологии биологического контроля яблонной плодовой жоржки *Laspeyresia pomonella* L. и чешуекрылых вредителей яблони с использованием энтомофагов, феромонов и биопрепаратов» ГФ МОН РК.

Список литературы

1. Zhang, Z.-Q. Phylum Arthropoda. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013) // Zootaxa. Auckland: Magnolia Press. – 2013. – Vol. 3703(1). – P. 17-26.
2. Nyffeler M. Phytophagy in jumping spiders: The vegetarian side of a group of insectivorous predators // Peckhamia. – 2016. – 137.1. – P. 1-17.
3. Ашикбаев Н.Ж. Жизненные формы пауков (Araneae), обитающие на пшеничных полях в Кустанайской области // Энтомологическое обозрение. – 1973. – Т. 52, № 3. – С. 508-519.
4. Темрешев И.И., Есенбекова П.А., Кенжегалиев А.М., Сагитов А.О. Фауна и хозяйственное значение пауков (Arachnida, Aranei) на полях кормовых культур Алматинской области Казахстана // Новости науки Казахстана. Сельское и лесное хозяйство. – 2016. – № 2(128). – С. 175-185.
5. Темрешев И.И., Казенас В.Л. Естественные враги стволовых вредителей в горных лесах Иле-Алатауского государственного национального природного парка (Юго-Восточный Казахстан). – Алматы: Нур-Принт, 2017. – 150 с.
6. Bolat Zh., Mukhamadiyev N.S., Temreshev I.I., Mengdibayeva G.Zh. To the fauna of the spiders (Arachnida, Aranei) of the green belt of the city of Astana // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agrarian Sciences. – 2018. – Vol. 3, No 45. – P. 46-53.
7. Темрешев И.И., Есенбекова П.А., Сагитов А.О., Мухамадиев Н.С. Рекомендации по разведению жалящих перепончатокрылых (опылителей и энтомофагов) на полях кормовых культур. – Алматы, 2017. – 29 с.
8. Argañaraz C.I., Gleiser R.M. Does urbanization have positive or negative effects on Crab spider (Araneae: Thomisidae) diversity? // Zoologia. – 2017. – 34. – Vol. 15. – P. 1-8. DOI: 10.3897/zoologia.34.e19987.
9. Benhadi-Marín J., Pereira J.A., Sousa J.P., Santos S.A.P. Distribution of the spider community in the olive grove agroecosystem (Portugal): potential bioindicators // Agricultural and Forest Entomology. – 2019. – Vol. 22. – P. 10-19. DOI: <https://doi.org/10.1111/afe.12352>.
10. Meixiang Gao, Yuxi Guo, Jie Liu, Jinwen Liu, Sina Adl, Donghui Wu & Tingyu Lu. Contrasting beta diversity of spiders, carabids, and ants at local and regional scales in a black soil region, northeast China // Soil Ecology Letters. – 2021. – Vol. 3. – P. 103-114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0071-1>.
11. Hambäck P.A., Cirtwill A.R., García D., Grudzinska-Sterno M., Miñarro M., Tasin M., Yang X., Samnegård U. More intraguild prey than pest species in arachnid diets may compromise biological control in apple orchards // Basic and Applied Ecology. – 2021. – Vol. 57. – P. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.09.006>.
12. Hambäck P.A., Porcel M., Tasin M., Samnegård U. Predatory arthropod community composition in apple orchards: Orchard management, landscape structure and sampling method // Journal of Applied Entomology. – 2021. – Vol. 145. – P. 46-54. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12832>.
13. Huang X., Quan X., Wang X., Yun Y., Peng Y. Is the spider a good biological control agent for *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)? // Zoologia. – 2018. – Vol. 35. – P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e23481>.
14. Jeetikasiddhu, Lohani H.P., Pathak G., Kaushal B.R. Spider Diversity in Different Agricultural Crops in Mangoli, Nainital District, Uttarakhand, India // Journal Mountain Research and Development. – 2021. – Vol. 16 (1). – P. 151-159. DOI: <https://doi.org/10.51220/jmr.v16i1.15>.

15. Picchi M.S. Spiders (Araneae) of olive groves and adjacent seminatural habitats from central Italy // *Arachnologische Mitteilungen: Arachnology Letters*. – Vol. 60 (1). – P. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.30963/aramit6001>.
16. Sabanal B.T., Achondo M.J.M.M., Gamalo L.E.D., Alviola P.IV, Responde M.A. Local Community Perceptions of the Ecological and Socio-Economic Benefits of Spiders in Small-Scale Urban Green Spaces for Conservation Reinforcement // *Asian Journal of Conservation Biology*. – 2021. – Vol. 10. – No. 1. – P. 115-123. DOI: <https://doi.org/10.53562/ajcb.VYMM5004>.
17. Кожабаета Г.Е., Темрешев И.И., Чильдебаета М.К. Действие препаратов бонус, 40/120, с.к., и номолт, 15 %, с.к., на индикаторные виды нецелевых насекомых и паукообразных // *Материалы Международной научной конференции «Защита растений и экологическая устойчивость агробиоценозов», посвященной 100-летию со дня рождения Ж.Т. Джембаева*. – Алматы, 2014. – С. 239-241.
18. Kozhabaeva G.E., Temreshev I.I., Childebaev M.K. Action of pesticides from neonicotinoid group on non-target arthropods indicator species // *Plant protection for Ecological Sustainability of Agrobiocenosis. Information bulletin of IOBC EPRS*. – 2014. – Vol. 46. – P. 67-70.
19. Кожабаета Г.Е., Темрешев И.И. Влияние инсектицидов бонус 40/120 с.к. и номолт 15% с.к. на нецелевую фауну наземных членистоногих в Южном Казахстане // *Материалы Международной научной конференции «Инновационные экологически безопасные технологии защиты растений», 24-25 сентября*. – Алматы: Таугуль-Принт, 2015. – С. 532-540.
20. Темрешев И.И., Казенас В.Л., Есенбекова П.А., Кожабаета Г.Е. Влияние инсектицидов бонус 40/120 с.к. и номолт 15 % с.к. на нецелевую фауну наземных членистоногих-энтомофагов вредных саранчовых в Южном Казахстане // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская*. – 2016. – № 6 (318). – С. 157-166.
21. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. – Москва: Высшая школа, 1971. – 424 с.
22. Темрешев И.И., Есенбекова П.А., Сарсенбаева Г.Б. Новая модель почвенной ловушки из дешевых, прочных и доступных материалов (произведение науки). - Свидетельство о госрегистрации на объект авторского права Республики Казахстан № 2483 от 23.11.2016 г. ИС 006634.
23. Ажеганова Н.С. Краткий определитель пауков (Aranei) лесной и лесостепной фауны СССР. – Ленинград: Наука, 1968. – 147 с.
24. Марусик Ю.М., Ковблюк Н.М. Пауки (Arachnida, Aranei) Сибири и Дальнего Востока России. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 344 с.
25. Сейфуллина Р.Р., Карцев В.М. Пауки средней России: Атлас-определитель. – Москва: ЗАО «Фитон+», 2011. – 608 с.
26. Тыщенко В.П. Определитель пауков Европейской части СССР. – Ленинград: «Наука», 1971. – 281 с.
27. Марусик Ю.М., Тарабаев Ч.К., Литовченко А.М. Каталог пауков-кругопрядов Казахстана. Семейство Araneidae // *Известия АН Каз ССР. Серия биологическая*. – 1990. – Вып. 4. – С. 14-23.
28. Michalko R. Spiders as bioagens of pome orchard pests: Ph.D. Dissertation. – Brno, 2017. – 148 p.
29. Michalko R., Pekár S. & Entling M.H. An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control // *Oecologia*. – 2019. – Vol. 189. – P. 21-36.
30. Тарабаев Ч.К. Пауки – обитатели крон яблонь предгорий Заилийского Алатау // *Труды Казахского отделения ВЭО. Новости энтомологии Казахстана*. – 1980. – Деп. В ВИНТИ № 3415-79. – С. 119-125.
31. Тарабаев Ч.К. Пауки и некоторые малоизученные виды хищных насекомых - обитатели крон яблонь в насаждениях предгорий Заилийского Алатау и их значение в снижении

численности фитофагов: диссертация кандидата биологических наук: 03.00.09. – Алма-Ата, 1980. – 137 с.

32. Шейкин А.О., Тарабаев Ч.К. Исследование количества биомассы жертв *Theridion impressum* L. Koch, 1881 в биоценозах яблоневого крона предгорий Заилийского Алатау // Фауна и экология пауков, скорпионов и ложноскорпионов СССР. Труды Зоологического института. – Ленинград: 1990. – С. 38-44.

33. Jäger P., Otto S. New records of *Olios sericeus* (Kroneberg 1875) with notes on its taxonomy and biogeography (Araneae: Sparassidae: Sparassinae) // Revista Ibérica de Aracnología. – 2006. – Vol. 14, 31-XII. – P. 19-24.

**И.И. Темрешев¹, Б.К. Көпжасаров¹, З.Б. Бекназарова¹, А.М. Сарбасова¹,
А.Ш. Жанбатыров²**

¹Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан

Өрмекшітәрізділерді (Arachnida) зерттеу – Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы алма бақтары қабыршаққанатты зиянкестерінің энтомофагтары

Аңдатпа. Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы алма бақтарында 4 отрядқа (Pseudoscorpionida, Trombidiformes, Opiliones және Aranei) және 19 тұқымдасына жататын арахнидтердің 81 түрі мен 59 ұрпағы атап өтілді. Өртүрлілігі бойынша басым-өрмекшілер отряды (Aranei) – 16 тұқымдас, 54 тұқым және 73 түр, қалған отрядтарға бір тұқымдас және 1-2 тұқым мен түр кіреді. Тұқым мен түрлердің саны бойынша Araneidae тұқымдасы басым – 11 түр және 9 тұқым. Одан кейін Thomisidae (9 тұқым және 10 түр), Salticidae (8 тұқым және 9 түр), Lycosidae (5 тұқым және 9 түр), Philodromidae (4 тұқым және 9 түр), Theridiidae (3 тұқым және 5 түр) және Gnaphosidae (4 тұқым и 4 түр). Басқа тұқымдастар 1-2 тұқым мен түрлерден тұрады. Жалпы, химиялық пестицидтермен өңдеу қолданылған арахнидті алма екпелерінің фаунасы табиғи биотоптары бар, мұндай өңдеусіз бақтармен салыстырғанда әлдеқайда аз (2 есе немесе одан да көп). Зертханалық жағдайда өрмекшілердің әртүрлі түрлерімен зиянкестердің жұлдызқұрттарының жейтіндігі туралы мәліметтер келтірілген. *Amaurobius erberi* (Keyserling, 1863) тәулігіне 10 данаға дейін алма жемісжемірінің жұлдызқұртын *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) немесе 5 данаға дейін күлгін-сұр көбелек *Orthosia incerta* (Hufnagel, 1766) жеді. *Steatoda paykulliana* (Walckenaer, 1806) күніне орта есеппен 5 алма жемісжемірінің жұлдызқұртын немесе 3 көбелек жұлдызқұрттарын жойды. *Diaea suspiciosa* O. P.-Cambridge, 1885, *Xysticus pseudocristatus* Azarkina & Logunov, 2001 және *Evarcha arcuata* (Clerck, 1758) сияқты кішігірім түрлер тәулігіне 2-3 жұлдызқұрт жеді. Алма бағында алғаш рет Өрмекші *Olios sericeus* (Kroneberg, 1875) атап өтілді, Қазақстанда бұл түр бұрын синантропты ретінде атап өтілетін.

Түйін сөздер: өрмекшітәрізділер, Arachnida, фауна, энтомофагтар, алма ағашы, оңтүстік-шығыс, Қазақстан.

I.I. Temreshev¹, B.K. Kopzhasarov¹, Z.B. Beknazarova¹, A.M. Sarbasova¹, A.Sh. Dzhanbatyrov²

¹Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembayev, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan

To the study of arachnids (Arachnida) – entomophages of lepidoptera pests of apple trees in the south-east of Kazakhstan

Annotation. Nowadays, 81 species and 56 genera of arachnids belonging to 4 orders (Pseudoscorpionida, Trombidiformes, Opiliones and Aranei) and 19 families have been recorded in apple orchards of southeastern Kazakhstan. The order of spiders (Aranei) is dominant in diversity – 16 families, 54 genera and 73 species, the remaining orders include one family and 1-2 genera and species. According to the number of genera and species, the Araneidae family is dominant – 11 species and 9 genera. It is followed by the families Thomisidae (9 genera and 10 species), Salticidae (8 genera and 9 species), Lycosidae (5 genera and 9 species), Philodromidae (4 genera and 9 species), Theridiidae (3 genera and 5 species) and Gnaphosidae (4 genera and 4 species). Other families are represented by 1-2 genera and species. In general, the fauna of arachnid apple plantations, in which chemical pesticide treatments are used, is much more depleted (by 2 or more times) compared to gardens without such treatments and natural biotopes. Data on the consumption of pest caterpillars by different types of spiders in laboratory maintenance are given. *Amaurobius erberi* (Keyserling, 1863) ate up to 10 caterpillars of the codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) or up to 5 caterpillars of the clouded drab *Orthosia incerta* (Hufnagel, 1766) per day. *Steatoda paykulliana* (Walckenaer, 1806) destroyed an average of 5 caterpillars of the codling moth or 3 caterpillars of the clouded drab per day. Smaller species, such as *Diaea suspiciosa* O.P.-Cambridge, 1885, *Xysticus pseudocristatus* Azarkina & Logunov, 2001 and *Evarcha arcuata* (Clerck, 1758), ate 2-3 caterpillars per day. For the first time in the apple orchard, the spider *Olios sericeus* (Kroneberg, 1875) was recorded, in Kazakhstan this species was previously noted as synanthropic.

Keywords: arachnids, Arachnida, fauna, entomophages, apple tree, south-east, Kazakhstan.

References

1. Zhang, Z.-Q. Phylum Athropoda. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013), Zootaxa. Auckland: Magnolia Press, 3703(1), 17-26 (2013).
2. Nyffeler M. Phytophagy in jumping spiders: The vegetarian side of a group of insectivorous predators, Peckhamia, 137(1), 1-17 (2016).
3. Ashikbaev N.ZH. Zhiznennye formy paukov (Araneae), obitayushchie na pshenichnyh polyah v Kustanajskoj oblasti, Entomologicheskoe obozrenie [Life forms of spiders (Araneae) living in wheat fields in the Kustanai region, Entomological Review], 52(3), 508-519 (1973). [in Russian]
4. Temreshev I.I., Esenbekova P.A., Kenzhegaliev A.M., Sagitov A.O. Fauna i hozyajstvennoe znachenie paukov (Arachnida, Aranei) na polyah kormovyh kul'tur Almatinskoy oblasti Kazahstana, Novosti nauki Kazahstana. Sel'skoe i lesnoe hozyajstvo [Fauna and economic importance of spiders (Arachnida, Aranei) in the fields of fodder crops in the Almaty region of Kazakhstan, Science News of Kazakhstan. Agriculture and forestry], 2(128), 175-185 (2016). [in Russian]
5. Temreshev I.I., Kazenas V.L. Estestvennye vragi stvolovyh vreditel' v gornyh lesah Ile-Alatauskogo gosudarstvennogo nacional'nogo prirodnogo parka (YUgo-Vostochnyj Kazahstan) [Natural enemies of stem pests in the mountain forests of the Ile-Alatau State National Natural Park (South-Eastern Kazakhstan)] (Almaty: Nur-Print, 2017, 150 s.). [in Russian]

6. Bolat Zh., Mukhamadiyev N.S., Temreshev I.I., Mengdibayeva G.Zh. To the fauna of the spiders (Arachnida, Aranei) of the green belt of the city of Astana, News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agrarian Sciences, 3(45), 46-53 (2018).
7. Temreshev I.I., Esenbekova P.A., Sagitov A.O., Muhamadiev N.S. Rekomendacii po razvedeniyu zhalyashchih pereponchatokrylyh (opylitelej i entomofagov) na polyah kormovyh kul'tur [Recommendations for breeding stinging hymenoptera (pollinators and entomophages) in forage fields] (Almaty, 2017, 29 s.). [in Russian]
8. Argañaraz C.I., Gleiser R.M. Does urbanization have positive or negative effects on Crab spider (Araneae: Thomisidae) diversity? Zoologia, 34(15), 1-8 (2017). DOI: 10.3897/zoologia.34.e19987.
9. Benhadi-Marín J., Pereira J.A., Sousa J.P., Santos S.A.P. Distribution of the spider community in the olive grove agroecosystem (Portugal): potential bioindicators, Agricultural and Forest Entomology, 22, 10-19 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/afe.12352>.
10. Meixiang Gao, Yuxi Guo, Jie Liu, Jinwen Liu, Sina Adl, Donghui Wu & Tingyu Lu. Contrasting beta diversity of spiders, carabids, and ants at local and regional scales in a black soil region, northeast China, Soil Ecology Letters, 3, 103-114 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0071-1>.
11. Hambäck P.A., Cirtwill A.R., García D., Grudzinska-Sterno M., Miñarro M., Tasin M., Yang X., Samnegård U. More intraguild prey than pest species in arachnid diets may compromise biological control in apple orchards, Basic and Applied Ecology, 57, 1-13 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.09.006>.
12. Hambäck P.A., Porcel M., Tasin M., Samnegård U. Predatory arthropod community composition in apple orchards: Orchard management, landscape structure and sampling method, Journal of Applied Entomology, 145, 46-54 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12832>.
13. Huang X., Quan X., Wang X., Yun Y., Peng Y. Is the spider a good biological control agent for *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)? Zoologia, 35, 1-6 (2018). DOI: <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e23481>.
14. Jeetikasiddhu, Lohani H.P., Pathak G., Kaushal B.R. Spider Diversity in Different Agricultural Crops in Mangoli, Nainital District, Uttarakhand, India, Journal Mountain Research and Development, 16 (1), 151-159 (2021). DOI: <https://doi.org/10.51220/jmr.v16i1.15>.
15. Picchi M.S. Spiders (Araneae) of olive groves and adjacent seminatural habitats from central Italy, Arachnologische Mitteilungen: Arachnology Letters, 60(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.30963/aramit6001>.
16. Sabanal B.T., Achondo M.J.M.M., Gamalo L.E.D., Alviola P.IV, Responte M.A. Local Community Perceptions of the Ecological and Socio-Economic Benefits of Spiders in Small-Scale Urban Green Spaces for Conservation Reinforcement, Asian Journal of Conservation Biology, 10(1), 115-123 (2021). DOI: <https://doi.org/10.53562/ajcb.VYMM5004>.
17. Kozhabaeva G.E., Temreshev I.I., Chil'debaev M.K. Dejstvie preparatov bonus, 40/120, s.k., i nomolt, 15 %, s.k., na indikatornye vidy necelevykh nasekomykh i paukoobraznyh. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Zashchita rastenij i ekologicheskaya ustojchivost' agrobiocenozov», posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya Zh.T. Dzhiembaeva, Almaty [Action of drugs bonus, 40/120, s.s., and nomolt, 15%, s.s., on indicator species of non-target insects and arachnids. Proceedings of the International Scientific Conference "Plant Protection and Ecological Sustainability of Agrobiocenoses", dedicated to the 100th anniversary of the birth of Zh.T. Dzhiembaeva, Almaty], 239-241 (2014). [in Russian]
18. Kozhabaeva G.E., Temreshev I.I., Chil'debaev M.K. Action of pesticides from neonicotinoid group on non-target arthropods indicator species, Plant protection for Ecological Sustainability of Agrobiocenosis. Information bulletin of IOBC EPRS, 46, 67-70 (2014).

19. Kozhabaeva G.E., Temreshev I.I. Vliyanie insekticidov bonus 40/120 s.k. i nomolt 15% s.k. na necelevuyu faunu nazemnyh chlenistonogih v YUzhnom Kazahstane. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Innovacionnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii zashchity rastenij», 24-25 sentyabrya. Almaty, Taugul'-Print [Effect of insecticides bonus 40/120 sc. and nomolt 15% d.s. on non-target fauna of terrestrial arthropods in South Kazakhstan. Proceedings of the International Scientific Conference "Innovative environmentally friendly technologies for plant protection", September 24-25. Almaty, Taugul'-Print], 532-540 (2015). [in Russian]
20. Temreshev I.I., Kazenas V.L., Esenbekova P.A., Kozhabaeva G.E. Vliyanie insekticidov bonus 40/120 s.k. i nomolt 15 % s.k. na necelevuyu faunu nazemnyh chlenistonogih-entomofagov vrednyh saranchovyh v YUzhnom Kazahstane, Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Seriya biologicheskaya i medicinskaya [Effect of insecticides bonus 40/120 sc. and nomolt 15% d.s. on the non-target fauna of terrestrial arthropods-entomophages of harmful locusts in South Kazakhstan, Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series biological and medical], 6(318), 157-166 (2016). [in Russian]
21. Fasulati K.K. Polevoe izuchenie nazemnyh bespozvonochnyh [Field study of terrestrial invertebrates] (Moskva: Vysshaya shkola, 1971, 424 s.) [Moscow: Higher School, 1971, 424 p.] [in Russian]
22. Temreshev I.I., Esenbekova P.A., Sarsenbaeva G.B. Novaya model' pochvennoj lovushki iz deshevyh, prochnykh i dostupnykh materialov (proizvedenie nauki). - Svidetel'stvo o gosregistracii na ob"ekt avtorskogo prava Respubliki Kazahstan № 2483 ot 23.11.2016 g. IS 006634 [A new model of soil trap made of cheap, durable and affordable materials (a work of science). - Certificate of state registration for the object of copyright of the Republic of Kazakhstan No. 2483 dated November 23, 2016 IS 006634]. [in Russian]
23. Azheganova N.S. Kratkij opredelitel' paukov (Aranei) lesnoj i lesostepnoj fauny SSSR [Brief guide to spiders (Aranei) of the forest and forest-steppe fauna of the USSR] (Leningrad: Nauka, 1968, 147 s.). [in Russian]
24. Marusik YU.M., Kovblyuk N.M. Pauki (Arachnida, Aranei) Sibiri i Dal'nego Vostoka Rossii [Spiders (Arachnida, Aranei) of Siberia and the Russian Far East] (Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdanij KMK, 2011, 344 s.) [Moscow: Association of scientific publications KMK, 2011, 344 p.]. [in Russian]
25. Sejfullina R.R., Karcev V.M. Pauki srednej Rossii: Atlas-opredelitel' [Spiders of Central Russia: Key Atlas] (Moskva: ZAO «Fiton+», 2011, 608 s.) [Moscow: CJSC "Fiton +", 2011, 608 p.]. [in Russian]
26. Tyshchenko V.P. Opredelitel' paukov Evropejskoj chasti SSSR [Key to spiders in the European part of the USSR] (Leningrad: «Nauka», 1971, 281 s.). [in Russian]
27. Marusik YU.M., Tarabaev CH.K., Litovchenko A.M. Katalog paukov-krugopryadov Kazahstana. Semejstvo Araneidae, Izvestiya AN Kaz SSR. Seriya biologicheskaya [Catalog of orb-weaving spiders of Kazakhstan. Family Araneidae, Izvestiya AN Kaz SSR. Biological series], 4, 14-23 (1990). [in Russian]
28. Michalko R. Spiders as bioagens of pome orchard pests: Ph.D. Dissertation (Brno, 2017, 148 p.).
29. Michalko R., Pekár S. & Entling M.H. An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control, *Oecologia*, 189, 21-36 (2019).
30. Tarabaev CH.K. Pauki – obitateli kron yablon' predgorij Zailijskogo Alatau, Trudy Kazhskogo otdeleniya VEO. Novosti entomologii Kazahstana [Spiders - inhabitants of the crowns of apple trees in the foothills of the Zailiysky Alatau, Proceedings of the Kazakh branch of the VEO. News of Entomology of Kazakhstan], №3415-79, 119-125, (1980). [in Russian]

31. Tarabaev CH.K. Pauki i nekotorye maloizuchennyye vidy hishchnyh nasekomyh - obitateli kron yablon' v nasazhdeniyah predgorij Zailijskogo Alatau i ih znachenie v snizhenii chislennosti fitofagov: dissertaciya kandidata biologicheskikh nauk: 03.00.09 [Spiders and some little-studied species of predatory insects - inhabitants of the crowns of apple trees in the plantations of the foothills of the Zailiysky Alatau and their importance in reducing the number of phytophages: dissertation of a candidate of biological sciences: 03.00.09]. (Almaty, 1980, 137 s.). [in Russian]

32. SHEjkin A.O., Tarabaev CH.K. Issledovanie kolichestva biomassy zhertv *Theridion impressum* L. Koch, 1881 v biocenoazah yablonevyh kron predgorij Zailijskogo Alatau. Fauna i ekologiya paukov, skorpionov i lozhnoskorpionov SSSR. Trudy Zoologicheskogo instituta [Investigation of the amount of biomass of victims of *Theridion impressum* L. Koch, 1881 in the biocenoses of apple crowns of the foothills of the Zailiysky Alatau. Fauna and ecology of spiders, scorpions and false scorpions of the USSR. Proceedings of the Zoological Institute] (Leningrad: 1990, 38-44 s.) [in Russian]

33. Jäger P., Otto S. New records of *Olios sericeus* (Kroneberg 1875) with notes on its taxonomy and biogeography (Araneae: Sparassidae: Sparassinae), Revista Ibérica de Aracnología, 14 (31-XII), 19-24 (2006).

Сведения об авторах:

Темрешев И.И. – к.б.н., ведущий научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, Алматы, Казахстан.

Копжасаров Б.К. – к.б.н., заведующий отделом интегрированной защиты, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, Алматы, Казахстан.

Бекназарова З.Б. – PhD, заведующий лабораторией энтомологии, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, Алматы, Казахстан.

Сарбасова А.М. – научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, Алматы, Казахстан.

Джанбатыров А.Ш. – докторант, Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан.

Temreshev I.I. – Ph.D., leading researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembayev, Almaty, Kazakhstan.

Kopzhasarov B.K. – Ph.D., Head of the Integrated Protection Department, Kazakh Research Institute Zh. Zhiembayev Plant Protection and Quarantine", Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.

Beknazarova Z.B. – Ph.D., Head of the Entomology Laboratory, Kazakh Scientific Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembayev, Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.

Sarbasova A.M. – researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembayev, Almaty, Kazakhstan.

Dzhanbatyrov A.Sh. – Ph.D. student, Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.

Zh.B. Adish^{1,2*}, M. Nurtleu^{1,2}, K.A. Tursunov¹, K.N. Mukantayev¹,
Y.M. Ramankulov¹, K.K. Mukanov¹

¹National Center for Biotechnology, Astana, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: zhansaya.adish@gmail.com

Obtaining and investigating immunochemical properties of monoclonal antibodies against rCTLA-4 protein

Abstract. Monoclonal antibodies are used to block control points of the tumor development of many oncological pathologies. One of the critical control points of tumor development of several oncological pathologies is the receptor for cytotoxic T-lymphocyte-associated protein 4 (CTLA-4). Monoclonal antibodies against the CTLA-4 receptor are laboratory-derived humanized antibodies. An essential step in the humanization of antibodies is the production of murine hybrid cells producing monoclonal antibodies. This article describes studies of mice monoclonal antibodies against a recombinant human CTLA-4 receptor (rCTLA-4) expressed in *Escherichia coli*. To obtain strains of hybrid cells producing monoclonal antibodies were used methods of hybridoma technology. As a result, hybrid cells producing monoclonal antibodies to CTLA-4 were obtained. Strains of hybrid cells have high productive activity *in vitro* and *in vivo*. Monoclonal antibodies react with rCTLA-4 protein, belong to the class of IgG1, and have a high binding constant. They efficiently bind to the rCTLA-4 receptor and block the interaction of rCTLA-4 with the commercial recombinant human B7-1 Fc and rhesus monkey PD-1 hFc proteins. These monoclonal antibodies to rCTLA-4 can be used to obtain recombinant humanized monoclonal antibodies to the human CTLA-4 receptor.

Keywords: Monoclonal antibodies, CTLA-4 receptor, oncology, recombinant protein.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-57-67

Introduction

Currently, monoclonal antibodies (mAbs) against the cytotoxic T-lymphocyte-associated protein 4 (CTLA-4) are of great importance for immunotherapy aimed at blocking immunological control points of tumor development. Programmed cell death receptor 1 (PD-1), ligands for PD-1 and 2 (PD-L1, PD-L2), and antigen 4 associated with cytotoxic T lymphocytes (CTLA-4) are of great interest. Interest in CTLA-4 is attributed to the receptor being a homolog of the CD28 receptor and having a higher affinity for the B7 receptor. The interaction of CD28 and B7 receptors leads to increased T cell proliferation and cytokine production. CTLA-4 is essentially a competitor to the CD28 receptor, thereby interfering with the generation of the CD28:B7 signal that stimulates immunity. In addition, the binding of CTLA-4 and B7 can produce inhibitory signals that counteract the stimulatory signals from the binding of CD28:B7 and TCR: MHC [1]. PD-L1 is the central mediator of the evasion of cancer cells from immunity and is the only biomarker that allows the prediction of the effectiveness of the blockade of immunological checkpoints [2]. In addition, PD-L1, like CTLA-4, can bind to the B7.1 (CD80) receptor on dendritic cells and prevent the development of antitumor immunity [3].

In this regard, mAbs against PD1 are effective tools in treating melanoma [4,5,6,7]. Since 2011, mAbs against CTLA-4 (Ipilyumab) has taken a stable position in the pharmaceutical market of the world. The mechanism of action of Ipilimumab is based on the inhibition of CTLA-4 and an increase in the period of antitumor immunity. In 2014, two more drugs based on mAbs Pembrolizumab, Nivolumab, and Ipilimumab became commercially available. Studies have shown that the use of mAbs in 20% of patients with skin melanoma increased their immune response against malignancies by

several years. The use of Nivolumab or Pembrolizumab in combination with Ipilimumab was significantly more effective in the treatment of melanoma [8,9,10,11]. In the first phase of clinical trials, the effect of pembrolizumab on patients with melanoma and lung cancer was studied. Pembrolizumab showed no dose-dependent toxic effects and showed stimulatory antitumor activity against melanoma and lung cancer [12,13].

The use of mAbs for cancer immunotherapy control points is an essential study for the Republic of Kazakhstan in connection with an increase in malignant melanoma among the population. Here we report a study of murine mAbs against a recombinant CTLA-4 receptor expressed in *Escherichia coli*.

Material and methods

Animals, cells, and antigens

A total of 20 BALB/c mice (6-8-week old) and 150 outbred mice and X-63 myeloma cell lines were used. Anti-Mouse IgG1 and IgG2a Subclass Specific Antibodies (Jackson Immuno Research Inc), anti-Mouse IgG (whole molecule)-Peroxidase antibody produced in goat (Sigma-Aldrich, A4416) and 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine (TMB) Liquid Substrate System for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Sigma-Aldrich, T0440) and recombinant human B7-1Fc protein were used in this study.

Production of mAbs

On the first day, BALB/c mice were injected intraperitoneally with 400 mg of rCTLA-4 antigen with 0.1 mL of incomplete Freund's adjuvant (Gibco, USA) in phosphate-buffered saline (PBS), pH 7.2-7.4. The following immunization was performed on days 7, 11, 12, 13, and 14 with 100 µg of antigens. The titer was evaluated using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) in a series of two dilutions of the serum of each animal, starting at 1:200. Cell hybridization was carried out according to the method of Oi and Herzenberg [14]. Cloning of hybrid cultured cells was performed by the limiting dilution method described by Coding [15].

To obtain a preparative amount of antibodies, hybrid cells were cultured in flasks with a volume of 150 cm³ for 8 days at 37°C. After cultivation, the culture medium was collected and separated from the hybrid cells by centrifugation at 150 g for 10 minutes. MAbs were purified from ascites fluid by salting out with ammonium sulfate to 50% saturation. The formed precipitate was centrifuged at 3000 g for 30 min at 4°C. The antibody pellet was resuspended in a minimal volume of PBS (pH7.2) and dialyzed against PBS during the day. Antibodies from the resulting solution were purified using HiTrap Protein A HP (GE Healthcare Life Sciences).

The binding affinity of mAbs

The method of Beatty et al. (1987) determined the binding affinity of mAbs. The recombinant protein was immobilized in three rows of a 96-well plate with the optimal concentration (10µg/mL) and three rows of wells with a protein concentration two times lower than the optimal concentration (5 µg/mL) in 0.05 M bicarbonate buffer, pH of 9.6 and incubated at 4°C for 12 h. After washing the plate and blocking with 1% bovine serum albumin (BSA), double dilutions of mAbs were introduced into the wells, starting from 10µg/mL, and incubated at 37°C for 1 h. After washing the plate, an antispecific conjugate was added at a dilution of 1:1000 and incubated at 37°C for 1 h. To develop the reaction, a TMB substrate was used, followed by the addition of a stop reagent. The optical density was measured at a wavelength of 450 nm. Based on the obtained data, graphs were constructed and the binding constant was determined.

The value of K_{aff} was calculated using equation (1).

$$K_{aff} = \frac{1}{4Ab' - 2Ab} \quad (1)$$

Where

Ab' – concentration of antibodies at 50% optical density of the reaction with rPD-1 in concentration 10 µg/mL;

Ab - concentration of antibodies at 50% optical density of the reaction with rPD-1 in concentration 5 µg/L.

ELISA

Solutions of rCTLA-4 (5µg/mL) in bicarbonate buffer (pH 9.6) were immobilized at 4 °C for 16 h. The plate was washed with 0.15 M PBS with Tween 20 (PBS-Tw20) (pH 7.4). After washing the plate, 1% BSA was added and incubated for 1 h at 37°C. Then, serial dilutions of mAbs beginning with 1:100 were introduced into wells. The plates were incubated as above and Anti-Mouse IgG (whole molecule)-Peroxidase antibodies produced in goat (Sigma-Aldrich) diluted 1:40000 were added to the wells. The incubation was performed as previously. To develop the reaction, a substrate of 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) was added and incubated at RT. The reaction was then stopped by the addition of 2M sulfuric acid. The intensity of the reaction product was measured at 450 nm.

Western blot

The recombinant protein was analyzed on a 12% SDS-PAGE by Laemmli [16]. Immunochemical properties of the rCTLA-4 were analyzed in Western blot by Towbin [17] method. The rCTLA-4 was transferred to a nitrocellulose membrane which was incubated in a 1% BSA at 4°C, 16 h. Then the membrane was incubated with 1:1000 mAbs for 1.5 h at RT. After a washing step with PBS-Tw20 the membrane was incubated with anti species peroxidase-conjugate for 1 h at 37°C. After the washing procedure protein detection was visualized by the adding 4-chloro-naphthol substrate.

Results

Obtaining hybridoma cells producing mAb to the rCTLA-4 protein

In the enzyme immunoassay, the titer of antibodies against rCTLA-4 in the serum of immunized mice was 1:25600. B-lymphocytes of immunized mice were used to obtain strains of hybrid cells producing mAbs. As a result of hybridization, out of 384 seeded wells, 100 showed the growth of clones of hybrid cells, which is 26% of clone formation. Antibody-producing hybrid cells, we cloned three times. After the third cloning, from 96 obtained clones, 81 subclones produced antibodies to rCTLA-4, which is 85% of positive clones. After cloning, the hybridoma cells did not change their productive and cultural properties for 16 passages in vitro condition (observation time). The productivity of hybrid strains was determined using ELISA for 8 days. Hybrid cells were seeded in 8 wells of a 24-well plate in an amount of 2×10 cells per well. From day 1 to day 8, the culture medium was selected from one well per day to determine the antibody-producing activity of hybridomas by ELISA. To determine the hybridoma productivity, a comparison of the reaction intensity in the tested row of wells with positive control, in which the concentration of murine antibodies is known, was used. The results of the analysis of the productivity of hybrid cells are shown in Fig. 1.

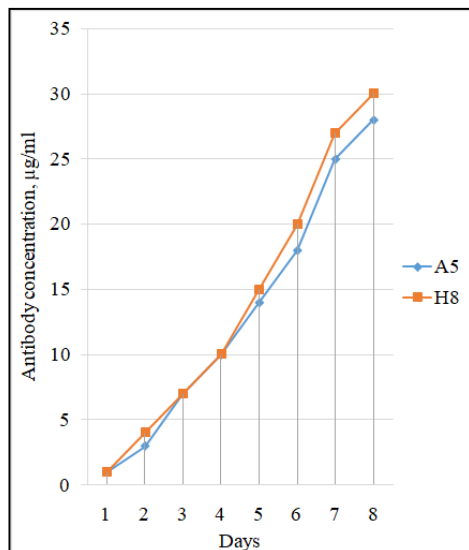


Figure 1. Productivity curve of hybrid cell strains producing mAbs to rCTLA-4 protein in vitro

Figure 1 shows that the concentration of antibodies in the culture fluid on the 8th day of cultivation reaches 17 - 30 µg/mL. To obtain a preparative amount of mAbs, hybridoma cells were cultivated in RPMI1640 medium within 6 days. The antibody concentration obtained was 4 mg/ml, from the total volume of cultural fluid was 150 ml.

Immunochemical properties of monoclonal anti-PD-1 antibodies

Indirect ELISA was used to determine the constant affinity (Kaff) of the mAbs. Serial dilution of mAbs was loaded onto rows on a microtiter plate with rCTLA-4 at two concentrations- 5 and 10 µg/mL. The dilution results from mAbs of four hybridoma cell culture pools in two concentrations of rCTLA-4 coating are shown in Fig. 2.

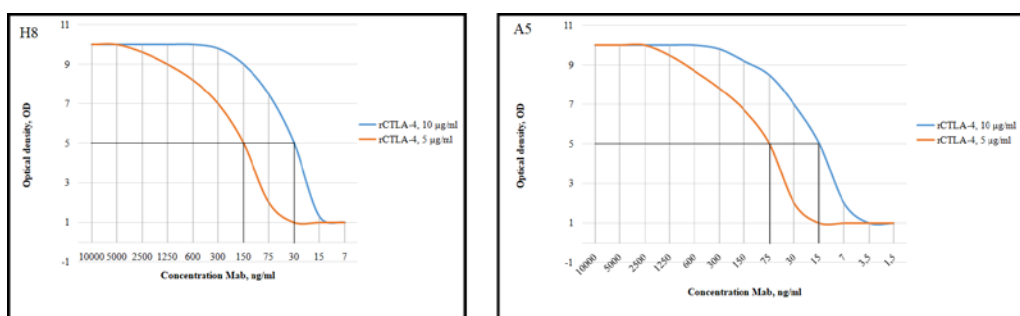


Figure 2. Experimental ELISA curve for anti-rCTLA-4 mAbs at two concentrations of protein

The calculated antibody concentrations (ng/mL) at OD-50 were H8 - 150 and 30; A5 - 75 and 15. According to formula (1), the affinity constant of monoclonal antibodies was calculated. This formula determines the level of interaction of the mAbs with the antigen and is based only on the total concentration of antibodies at 50% optical density of the reaction for 96 well plates immobilized with two concentrations of antigen, 5 and 10 µg/mL. The results of determining the binding constant are shown in table 1. To determine the subclass of mAbs in the ELISA used anti-mouse IgG1 and IgG2a subclass-specific antibodies (Jackson Immuno Research Inc).

Table 1

Main characteristics of monoclonal antibodies to rCTLA-4

Mab name	Subclass of antibodies	Productivity of hybridomas in vitro, $\mu\text{g/mL}$	Antibody sensitivity, ng/mL	Constant affinity
H8	IgG1	30	30	$3 \times 10^8 \text{M}^{-1}$
A5	IgG1	28	15	$5 \times 10^8 \text{M}^{-1}$

As can be seen from Table 1 the constant affinity of mAbs ranged from $3 \times 10^8 \text{M}^{-1}$ to $5 \times 10^8 \text{M}^{-1}$, which indicates the sufficient power binding of mAbs to this protein. The results of assessing the subclass of mAbs show that the mAbs to the rCTLA-4 protein synthesized by hybridoma belongs to the class G1 antibody.

Specificity and inhibited ability of monoclonal anti-rCTLA-4 antibodies

The main biological characteristics of mAbs are specificity, sensitivity, and affinity. The specificity demonstrates the ability of mAbs to react only with the certain protein to obtain antibody selectively. mAbs specificity was determined by Western blotting with heterogeneous proteins. The Western blot analysis showed a specific reaction of mAbs only with rCTLA-4 protein, the molecular weight of which is 20 kDa (Fig.3).

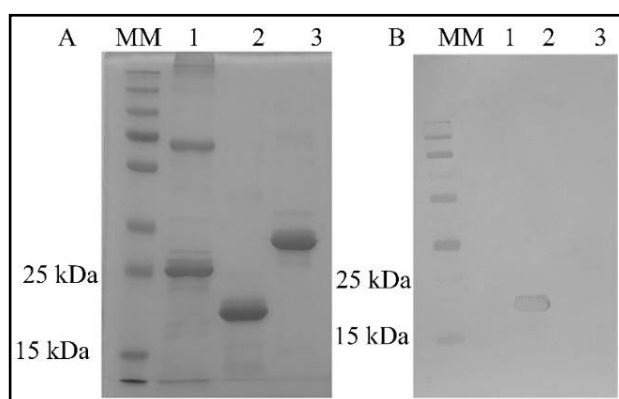


Figure 3. Electrophoresis (A) and Western blot (B) determine the specificity of mAbs to rCTLA-4 protein. Line 1 – rN protein SARS-Cov2; Line 2 – rCTLA protein; Line 3 - rPD-L1 rptein

The ability of mAbs to inhibit the reaction of rCTLA-4 with recombinant human B7-1Fc protein was researched by competitive ELISA assay. The solution of mAbs and rB7-1Fc protein was added to wells immobilized with rCTLA-4 a concentration of 10000 to 0,7 ng/ml . The solution of mAbs and rB7-1Fc was prepared in a ratio of 1:1. ELISA showed a decrease in the optical density of the reaction mAb+rB7-1Fc compared to rB7-1Fc (Fig.4).

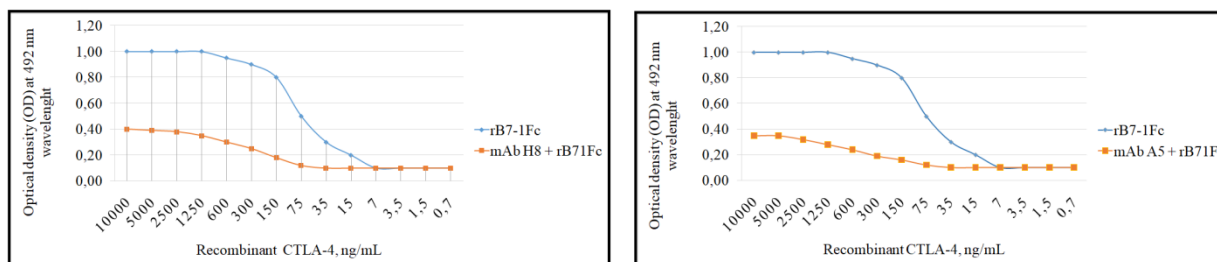


Figure 4. Experimental curves of competitive ELISA for rB7-1Fc protein and solution mAbs+rB7-1Fc protein

Discussion

mAbs against PD-1, PD-L1, and CTLA-4 have been successfully used as a treatment for various tumors and occupy a stable position in the pharmaceutical market of the world. The most widely used are three humanized mAbs: ipilimumab, pembrolizumab, and nivolumab [18]. mAbs can be used for the treatment of different types of malignant tumors. Japanese scientists have seen a positive effect in the treatment of diseases such as NSCLC, renal cell carcinoma, and melanoma in 18, 27, and 28% of patients, respectively. In these patients, also was observed the formation of long-term antitumor immunity. mAbs restrained the proliferation of some malignant tumors for 20-30 months [19].

In this work, five hybridoma cells producing mAbs to rCTLA-4 receptor were obtained. To get the strains of hybrid cells, we used the rCTLA-4 receptor obtained from *E. coli*. Analysis of the resulting murine mAbs showed a specific reaction with the extracellular fragment of the CTLA-4 receptor. mAbs had a sufficient affinity ranging from $3 \times 10^8 \text{M}^{-1}$ to $5 \times 10^8 \text{M}^{-1}$, specificity, and sensitivity to rCTLA-4. In our study, the resulting mAbs provide their unique specificity for CTLA-4 due to the interaction, which is likely to help in the development of therapeutic antibodies.

Wang et al. (2019), conducted studies on the effect of PD-1 receptor glycosylation on binding to mAbs. For these purposes, the authors obtained murine mAbs for recombinant human PD-1 (amino acid residues 21-167) obtained from *Escherichia coli* [20]. Mouse mAbs specifically bind to human PD-1 protein and inhibit the interaction of PD-1 and ligands. The mAbs obtained by the author had a binding constant of $3,5 \times 10^7 \text{M}^{-1}$. Then, the authors received humanized antibodies following the humanization of frame sequences of antibodies without changing affinity and specificity. Structural analysis showed that the specificity of mAbs is associated both with interaction with loops and with the glycan, parts of PD-1. The results showed that the N-glycosylation of PD-1 does not affect the binding strength of antibodies [20].

Conclusion

As a result of the work were investigated mAbs to a fragment of the extracellular domain of CTLA-4. The hybridoma cells have high productivity in vitro and in vivo. mAbs react with rCTLA-4 protein, belong to the class of IgG1, and have a high binding constant. Obtained mAbs efficiently blocked the reaction of rCTLA-4 with recombinant human B7-1Fc. Characterization of mAbs rCTLA-4 allows you to use them to obtain recombinant humanized mAbs to human CTLA-4 receptors.

Acknowledgments. This research was performed within the framework of the budget program 217 of the Ministry of Education and Science, the Republic of Kazakhstan on the project AP09258581 «Получение штамма клеток гибридом продуцирующие моноклональные антитела против внеклеточного фрагмента рецептора CTLA-4», for the period 2021–2023.

Conflict of interest. On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

References

1. Buchbinder E.I., Anupam D. CTLA-4 and PD-1 pathways similarities, differences, and implications of their inhibition // *American Journal of Clinical Oncology*. – 2016. – Vol. 39. – P. 98-107.
2. Shen X., Bin Zh. Efficacy of PD-1 or PD-L1 inhibitors and PD-L1 expression status in cancer: Meta-analysis // *BMJ Medicine*. – 2018. – Vol. 362. – P. k3529. DOI: 10.1136/bmj.k3529.
3. Maud M., Roller A., Pulko V., Sammicheli S., Chen S., Sum E., Jost C., Fransen M.F., Buser R.B., Kowanetz M., Rommel K., Matos I., Colombetti S., Belousov A., Karanikas V., Ossendorp F., Hegde P.S., Chen D.S., Umana P., Perro M., Klein C., Xu W. Dendritic cells dictate responses to PD-L1 blockade cancer immunotherapy // *Science Translational Medicine*. – 2020. – Vol. 12. – P. eaav7431. DOI: 10.1126/scitranslmed.aav7431.
4. Mamalis A., Garcha M., Jagdeo J. Targeting the PD-1 pathway: a promising future for the treatment of melanoma // *Archives of Dermatological Research*. – 2014. – Vol. 306. – P. 511-519.
5. Khoja L., Butler M. O., Kang S. P., Ebbinghaus S., Joshua A. M. Pembrolizumab // *Journal for ImmunoTherapy of Cancer*. – 2015. – Vol. 3. – P. 36-44.
6. Zou W., Wolchok J.D., Chen L. PD-L1 (B7-H1) and PD-1 pathway blockade for cancer therapy: mechanisms, response biomarkers, and combinations // *Journal of Translational Medicine*. – 2016. – Vol. 8. – P. 328-334.
7. Sharpe A.H., Pauken K.E. The diverse functions of the PD1 inhibitory pathway // *Nature Reviews Immunology*. – 2018. – Vol. 18, №3. – P. 153-167. DOI: 10.1038/nri.2017.108.
8. Leach D.R., Krummel M.F., Allison J.P. Enhancement of antitumor immunity by CTLA-4 blockade // *Science*. – 1996. – Vol. 271, №5256. – P. 1734-1736.
9. Hodi F.S., O'Day S.J., McDermott D.F., Weber R.W., Sosman J. A. Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma // *The New England Journal of Medicine*. – 2010. – Vol. 363, №8. – P. 711-723.
10. Robert C., Schachter J., Long G.V., Arance A., Grob J.J. Pembrolizumab versus ipilimumab in advanced melanoma // *The New England Journal of Medicine*. – 2015. – Vol. 372, №26. – P. 2521-2532.
11. Postow M.A., Chesney J., Pavlick A.C., Robert C., Grossmann K. Nivolumab and ipilimumab versus ipilimumab in untreated melanoma // *The New England Journal of Medicine*. – 2015. – Vol. 372, №21. – P. 2006-2017.
12. Shimizu T., Seto T., Hirai F., Takenoyama M., Nosaki K., Tsurutani J., Kaneda H., Iwasa T., Kawakami H., Noguchi K., Shimamoto T., Nakagawa K. Phase 1 study of pembrolizumab (MK-3475; anti-PD-1 monoclonal antibody) in Japanese patients with advanced solid tumors // *Investigational New Drugs*. – 2016. – Vol. 34. – P. 347-354.
13. Yamazaki N., Takenouchi T., Fujimoto M., Ihn H., Uchi H., Inozume T., Kiyohara Y., Uhara H., Nakagawa K., Furukawa H., Wada H., Noguchi K., Shimamoto T., Yokota K. Phase 1b study of pembrolizumab (MK-3475; anti-PD-1 monoclonal antibody) in Japanese patients with advanced melanoma (KEYNOTE-041) // *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*. – 2017. – Vol. 79. – P. 651-660.
14. Oi V.T., Herzenberg L.A. Immunoglobulin - producing hybrid cell lines. In: *Selected methods in cellular immunology*. – San Francisco, 1980. – 351 p.
15. Coding J.W. Antibody production by hybridomas // *Journal of Immunological Methods*. – 1980. – Vol. 39, №4. – P. 285-308. DOI: 10.1016/0022-1759(80)90230-6.
16. Laemmli U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 // *Nature*. – 1970. – Vol. 227. – P. 680-685.
17. Towbin P.K., Strahelin T., Gordon J. Electrophoretic transfer of proteins from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets // *Proceeding National Academic Science USA*. – 1979. – Vol. 6. – P. 4350-4354.

18. Li K., Cheng X., Tilevik A., Davis S. J., Zhu C. In situ and in silico kinetic analyses of programmed cell death-1 (PD-1) receptor, programmed cell death ligands, and B7-1 protein interaction network // Journal of Biological Chemistry. – 2017. – Vol. 292, №16. – P. 6799-6809.
19. Mandai M., Hamanishi J., Abiko K., Matsumura N., Baba T., Konishi I. Anti-PD-L1/PD-1 immune therapies in ovarian cancer: basic mechanism and future clinical application // International Journal of Clinical Oncology. – 2016. – Vol. 21. – P. 456-461. DOI: 10.1007/s10147-016-0968-y.
20. Wang M., Wang J., Wang R., Jiao S., Wang S., Zhang J., Zhang M. Identification of a monoclonal antibody that targets PD-1 in a manner requiring PD-1 Asn58 glycosylation // Communications Biology. – 2018. – Vol. 2. – P. 392.

**Ж.Б. Әдіш^{1,2}, М. Нуртлеу^{1,2}, Қ.А. Турсунов¹, Қ.Н. Мұқантаев¹,
Е.М. Раманқұлов¹, Қ.Қ. Мұқанов¹**

¹Ұлттық биотехнология орталығы, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

rCTLA-4 ақуызна моноклоналды антиденелердің иммунохимиялық қасиеттерін зерттеу және алу

Аңдатпа. Моноклоналды антиденелер көптеген онкологиялық патологияларда ісік дамуының бақылау нүктелерін блоктау үшін қолданылады. Бірқатар онкологиялық патологиялар кезінде ісік дамуының маңызды бақылау нүктелерінің бірі цитотоксикалық Т-лимфоциттермен байланысқан ақуыз 4 (CTLA-4) рецепторлары болып табылады. CTLA-4 рецепторына қарсы моноклоналды антиденелер зертханалық шыққан ізгілендірілген антиденелер болып табылады. Антиденелерді гуманизациялаудың маңызды қадамы ол моноклональды антиденелерді шығаратын тышқан гибридті жасушаларын өндіру болып табылады. Бұл мақалада *Escherichia coli* экспрессияланған адамның рекомбинантты CTLA-4 рецепторына (rCTLA-4) қарсы тінтуірдің моноклоналды антиденелерінің зерттеулері сипатталған. Моноклоналды антиденелерді шығаратын гибридті жасуша штаммдарын алу үшін гибридтомдық технология әдістері қолданылды. Нәтижесінде CTLA-4-ге моноклоналды антиденелерді өндіретін гибридті жасушалар алынды. Гибридті жасуша штаммдары *in vitro* және *in vivo* жоғары өнімді белсенділікке ие. Моноклоналды антиденелер rCTLA-4 ақуызымен әрекеттеседі, IgG1 класына жатады және жоғары байланысу константасына ие. Олар rCTLA-4 рецепторымен тиімді байланысады және rCTLA-4-тің коммерциялық рекомбинантты Fc B7-1 адам ақуыздары мен резус макака PD-1 hFc әрекеттесуін блоқтайды. Бұл анти-rCTLA-4 моноклоналды антиденелер адамның CTLA-4 рецепторына рекомбинантты гуманизацияланған моноклоналды антиденелерді жасау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: моноклоналды антиденелер, CTLA-4 рецепторы, онкология, рекомбинантты ақуыз.

Ж.Б. Адис^{1,2}, М. Нуртлеу^{1,2}, К.А. Турсунов¹, К.Н. Мукантаев¹,
Е.М. Раманкулов¹, К.К. Муканов¹

¹Национальный центр биотехнологии, Астана, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Получение и исследование иммунохимических свойств моноклональных антител к белку rCTLA-4

Аннотация. Моноклональные антитела используются для блокировки контрольных точек опухолевого развития многих онкологических патологий. Одной из критических контрольных точек опухолевого развития ряда онкологических патологий является рецептор цитотоксического Т-лимфоцитарно-ассоциированного белка 4 (CTLA-4). Моноклональные антитела против рецептора CTLA-4 представляют собой гуманизированные антитела лабораторного происхождения. Важным этапом гуманизации антител является получение мышинных гибридных клеток, продуцирующих моноклональные антитела. В этой статье описаны исследования мышинных моноклональных антител против рекомбинантного рецептора CTLA-4 человека (rCTLA-4), экспрессированного в *Escherichia coli*. Для получения штаммов гибридных клеток, продуцирующих моноклональные антитела, были использованы методы гибридомной технологии. В результате были получены гибридные клетки, продуцирующие моноклональные антитела к CTLA-4. Штаммы гибридных клеток обладают высокой продуктивной активностью *in vitro* и *in vivo*. Моноклональные антитела реагируют с белком rCTLA-4, относятся к классу IgG1 и имеют высокую константу связывания. Они эффективно связываются с рецептором rCTLA-4 и блокируют взаимодействие rCTLA-4 с коммерческими рекомбинантными белками Fc B7-1 человека и PD-1 hFc макака резус. Эти моноклональные антитела к rCTLA-4 можно использовать для получения рекомбинантных гуманизированных моноклональных антител к человеческому рецептору CTLA-4.

Ключевые слова: моноклональные антитела, рецептор CTLA-4, онкология, рекомбинантный белок.

References

1. Buchbinder E.I., Anupam D. CTLA-4 and PD-1 pathways similarities, differences, and implications of their inhibition, *American Journal of Clinical Oncology*, 39, 98-107 (2016).
2. Shen X., Bin Zh. Efficacy of PD-1 or PD-L1 inhibitors and PD-L1 expression status in cancer: Meta-analysis, *BMJ Medicine*, 362, k3529 (2018). DOI: 10.1136/bmj.k3529.
3. Maud M., Roller A., Pulko V., Sammicheli S., Chen S., Sum E., Jost C., Fransen M.F., Buser R.B., Kowanetz M., Rommel K., Matos I., Colombetti S., Belousov A., Karanikas V., Ossendorp F., Hegde P.S., Chen D.S., Umana P., Perro M., Klein C., Xu W. Dendritic cells dictate responses to PD-L1 blockade cancer immunotherapy, *Science Translational Medicine*, 12, eaav7431 (2020). DOI: 10.1126/scitranslmed.aav7431.
4. Mamalis A., Garcha M., Jagdeo J. Targeting the PD-1 pathway: a promising future for the treatment of melanoma, *Archives of Dermatological Research*, 306, 511-519 (2014).
5. Khoja L., Butler M. O., Kang S. P., Ebbinghaus S., Joshua A. M. Pembrolizumab, *Journal for ImmunoTherapy of Cancer*, 3, 36-44 (2015).
6. Zou W., Wolchok J.D., Chen L. PD-L1 (B7-H1) and PD-1 pathway blockade for cancer therapy: mechanisms, response biomarkers, and combinations, *Journal of Translational Medicine*, 8, 328-334 (2016).
7. Sharpe A.H., Pauken K.E. The diverse functions of the PD1 inhibitory pathway, *Nature Reviews Immunology*, 18, 153-167 (2018). DOI: 10.1038/nri.2017.108.

8. Leach D.R., Krummel M.F., Allison J.P. Enhancement of antitumor immunity by CTLA-4 blockade, [Science], 271(5256), 1734-1736 (1996).
9. Hodi F.S., O'Day S.J., McDermott D.F., Weber R.W., Sosman J. A. Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma, [The New England Journal of Medicine], 363(8),711-723 (2010).
10. Robert C., Schachter J., Long G.V., Arance A., Grob J.J. Pembrolizumab versus ipilimumab in advanced melanoma, [The New England Journal of Medicine], 372(26), 2521-2532(2015).
11. Postow M.A., Chesney J., Pavlick A.C., Robert C., Grossmann K. Nivolumab and ipilimumab versus ipilimumab in untreated melanoma, [The New England Journal of Medicine], 372(21), 2006-2017 (2015).
12. Shimizu T., Seto T., Hirai F., Takenoyama M., Nosaki K., Tsurutani J., Kaneda H., Iwasa T., Kawakami H., Noguchi K., Shimamoto T., Nakagawa K. Phase 1 study of pembrolizumab (MK-3475; anti-PD-1 monoclonal antibody) in Japanese patients with advanced solid tumors, Investigational New Drugs, 34, 347-354 (2016).
13. Yamazaki N., Takenouchi T., Fujimoto M., Ihn H., Uchi H., Inozume T., Kiyohara Y., Uhara H., Nakagawa K., Furukawa H., Wada H., Noguchi K., Shimamoto T., Yokota K. Phase 1b study of pembrolizumab (MK-3475; anti-PD-1 monoclonal antibody) in Japanese patients with advanced melanoma (KEYNOTE-041), Cancer Chemotherapy and Pharmacology, 79, 651-660 (2017).
14. Oi V.T., Herzenberg L.A. Immunoglobulin - producing hybrid cell lines. In: Selected methods in cellular immunology (San Francisco, 1980, 351 p.).
15. Coding J.W. Antibody production by hybridomas, Journal of Immunological Methods, 39(4), 285-308 (1980). DOI: 10.1016/0022-1759(80)90230-6.
16. Laemmli U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4, Nature, 227, 680-685 (1970).
17. Towbin P.K., Strahelin T., Gordon J. Electrophoretic transfer of proteins from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets, Proceeding National Academic Science USA, 6, 4350-4354 (1979).
18. Li K., Cheng X., Tilevik A., Davis S. J., Zhu C. In situ and in silico kinetic analyses of programmed cell death-1 (PD-1) receptor, programmed cell death ligands, and B7-1 protein interaction network, Journal of Biological Chemistry, 292(16), 6799-6809 (2017).
19. Mandai M., Hamanishi J., Abiko K., Matsumura N., Baba T., Konishi I. Anti-PD-L1/PD-1 immune therapies in ovarian cancer: basic mechanism and future clinical application, International Journal of Clinical Oncology, 21, 456-461 (2016), DOI: 10.1007/s10147-016-0968-y.
20. Wang M., Wang J., Wang R., Jiao S., Wang S., Zhang J., Zhang M. Identification of a monoclonal antibody that targets PD-1 in a manner requiring PD-1 Asn58 glycosylation, Communications Biology, 2, 392 (2018).

Авторлар туралы мәлімет:

Әдіш Ж.Б. – Иммунохимия және иммунобиотехнология зертханасының ғылыми қызметкері, Ұлттық биотехнология орталығы, Қорғалжын тас жолы, 13/5 ғимарат, Астана, Қазақстан.

Нұртлеу М. – Жалпы биология және геномика кафедрасының 3 курс докторанты, Л.Н Гумилев атындағы ЕҰУ, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан.

Тұрсыннов Қ.А. – Иммунохимия және иммунобиотехнология зертханасының аға ғылыми қызметкер, Ұлттық биотехнология орталығы, Қорғалжын тас жолы, 13/5 ғимарат, Астана, Қазақстан.

Мұқантаев Қ.Н. – Иммунохимия және иммунобиотехнология зертханасының меңгерушісі, Ұлттық биотехнология орталығы, Қорғалжын тас жолы, 13/5 ғимарат, Астана, Қазақстан.

Раманқұлов Е.М. – Ұлттық биотехнология орталығының директоры, Қорғалжын тас жолы, 13/5 ғимарат, Астана, Қазақстан.

Мұқанов Қ.Қ. – Ұлттық биотехнология орталығы иммунохимия және иммунобиотехнология зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қорғалжын тас жолы, 13/5 ғимарат, Астана, Қазақстан.

Adish Zh.B. – Researcher at the Laboratory of Immunochemistry and Immunobiotechnology, National Center for Biotechnology, Kurgalzhinskoe Highway, Building 13/5, Astana, Kazakhstan.

Nurtleu M. – The 3rd year doctoral student of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpaeva str., Astana, Kazakhstan.

Tursunov K.A. – Senior Researcher, Laboratory of Immunochemistry and Immunobiotechnology, National Center for Biotechnology, Kurgalzhinskoye Highway, building 13/5, Astana, Kazakhstan.

Mukantaev K.N. – Head of the Laboratory of Immunochemistry and Immunobiotechnology, National Center for Biotechnology, Kurgalzhinskoye Highway, building 13/5, Astana, Kazakhstan.

Ramankulov E.M. – Director of the National Center for Biotechnology, Kurgalzhinskoe Highway, building 13/5, Astana, Kazakhstan.

Mukanov K.K. – Leading Scientific Laboratory of Immunochemistry and Immunobiotechnology, National Center for Biotechnology, Kurgalzhinskoye Highway, building 13/5, Astana, Kazakhstan.

A.A. Ivashchenko¹, T.N. Stikhareva^{1*}, K.T. Abidkulova²,
V.Yu. Kirillov¹, A.N. Rakhimzhanov¹

¹A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: kazniiles@mail.ru

Supplement to the flora of tugai forests and adjacent deserts of the Ile-Balkhash region

Abstract. Based on the results of long-term research by the authors, and taking into account the analysis of literary data, we provide an addition to the desert flora of the Ile-Balkhash region, which includes 86 species from 69 genera and 31 families. Among the most interesting finds are *Gagea jensii* Levicev & Schmittler, first discovered in Kazakhstan; *Allium subscabrum* (Regel) RM Fritsch, a recently described narrow-local endemic of the Ili deserts; as well as four species listed in the Red Book of Kazakhstan. The article considers the unstable ecological situation in the surveyed region and the related changes in the species composition of higher plants, we recommend carrying out floristic monitoring of the most vulnerable plant communities, the tugai forests of the Ili River valley, and of the aquatic and semi-aquatic communities of the delta.

Keywords: flora, species list, ecosystem, desertification, distribution range type, monitoring.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-68-89

Introduction

The study and monitoring of specific floras are especially relevant in ecologically unstable areas, where global climate change increases desertification and alters the hydrological regime in the river basins. In Kazakhstan, one such unstable region is Ile-Balkhash. It occupies a vast territory of the Balkhash depression, bounded by the southern coast of Lake Balkhash, the Chu-Ili mountains, and the Zhetysuskiy Alatau ridge. The modern delta of the Ili River, the area of which is 8200–9750 km² according to different estimates, is considered one of the largest remaining deltas in the arid regions of Central Asia. The Ili River is a transboundary river. The upper part of its basin and the main drainage area are located in China, where agricultural water consumption is constantly growing. A further reduction in the river flow may lead to a shallowing and splitting into two parts of Lake Balkhash, and a repetition of the Aral Sea crisis [1].

In accordance with the botanical and geographical zoning, the Ile-Balkhash basin belongs to the North Turan province of the Sahara-Gobi desert region. The phytocoenotic diversity of the territory includes aquatic, marsh, meadow, tugai, and desert vegetation types. However, desert vegetation occupies the largest area [2]. According to the floristic zoning of Kazakhstan [3], most of the Ile-Balkhash region belongs to the Balkhash-Alakol floristic region. The ecological situation in this region has been unstable lately, due to increasing anthropogenic impact (regulation of the Ili River stream bed, creation of the Kapchagai reservoir) and desertification process in general. In this regard, inventory and monitoring of biological diversity in general, and that of the higher plants in particular are very relevant.

The study of the flora and vegetation of the region began in the first half of the 20th century. Among recent studies, we consider the monograph by S.G. Nesterova and Z.A. Inelova [4] to be the most important; it provides a detailed summary of the desert flora of the Ile-Balkhash region and adjacent territories. It lists 933 species and is currently the most complete summary of the region's flora. The authors also made taxonomic, ecological, and geographical analyses of the flora and identified rare species. Nevertheless, based on the in-depth analysis of existing scientific publications, it is possible to make additions to the existing summary of the flora.

In the Ile-Balkhash region, of particular interest are tugai forests, which provide vital ecosystem services in arid areas and act as a barrier to desertification. However, they occupy small areas, suffer from frequent fires, and are also subject to degradation due to the expansion of irrigated agricultural land, soil salinization, and reduced river flow [5-6]. In this regard, the scientific and technical program of the Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry named after A.N. Bukeikhana titled "Development of the scientific background for the conservation and increased stability of forest ecosystems in the regions of Kazakhstan" for 2021-2023 includes a section on the study of the current state, stability and restoration of tugai forests in southern Kazakhstan. One of the key elements of the first stages of research is the study of the floristic composition of tugai forests and their dynamics.

The purpose of the present study was to clarify and supplement the existing data on the species composition of tugai forests of the Ili River valley and the adjacent deserts.

Materials and Methods

The study area included the deserts of the Ile-Balkhash region, in particular, the Ili River valley, the Malaysary mountains, and the Ile-Balkhash nature reserve (Figure 1).



Figure 1. The Ile-Balkhash region

We collected material by studying the region's flora, rare plant species, biology and the state of populations of ephemeroïd geophytes, in particular, representatives of the genus *Tulipa* L. (1986-2020). The data were also collected during a complex expedition aimed at the development of a natural-scientific justification for the creation of the Ile-Balkhash nature reserve (led by Doctor of Biol. Sci., Prof. E.I. Rachkovskaya and Cand. Sci. B.M. Sultanova., Summer 2010), during the study of rare species (*Berberis iliensis* M. Pop., *Lonicera iliensis* Pojark.) and student fieldwork (2010-2020), as well as during annual route-reconnaissance surveys of turanga woodlands in the Ili River valley and adjacent deserts (2015-2020). In addition, herbarium and photographic materials were used, kindly provided by V.A. Kovshar, O.V. Belyalov, and L.E. Ishkov. The identification of plants was carried out by a florist, Cand. Sci. A.A. Ivashchenko, with the exception of representatives of the genus *Gagea* determined by Cand. Sci. I.G. Levichev (V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg).

When processing materials, scientific publications on the flora of the Ile-Balkhash region were analysed, references to which are provided in species descriptions.

The Latin names of plants are according to the International Plant Names Index (IPNI) [7]; in some cases, synonyms are given according to the "Flora of Kazakhstan" [3, 8-15] and the summary by S.A. Abdulina [16]. Descriptions and analysis of data on the distribution and ecology of species are provided according to the main floristic studies [3, 8-15, 17-27]. The order of families is given according to the system of A. Engler adopted in the "Flora of Kazakhstan" [3, 8-15], the order of species within families, in alphabetical order, and the types of areas, mainly according to V.P. Goloskokov [28]. The distribution of species by vegetation types was carried out according to E.I. Rachkovskaya et al. [29].

Research results are available on the topic of the study

Many publications on the inventory of flora and the description of the vegetation of this region date back to the 1960-the 1980s [30-32]. Further clarifications were obtained mainly due to an in-depth study of individual taxonomic groups (*Gagea* Salisb., *Allium* L., *Tulipa* L.) using modern molecular genetic methods [33-35].

As mentioned above, the most detailed summary of the desert flora of the Ile-Balkhash region was provided by S.G. Nesterova and Z.A. Inelova [4], who listed 933 species. Subsequently, floristic studies in this region continued, including those of certain types of useful plants [36], as well as by the authors of the present article [37-41].

Results and discussion

After processing the collected material and thoroughly analyzing the literature data for this region, we were able to supplement the most recent account of the flora of the region with 86 species, specific information on each of which is given below.

Family Thelypteridaceae Pichi Sermolli

Thelypteris palustris Schott (*Dryopteris thelypteris* (L.) A.Gray, *Thelypteris thelypteroides* (Michx.) Holub) has been recorded in the delta's lake thickets with the participation of *Phragmites australis* (Cav.) Steud. and *Typha angustifolia* L., in particular near Lake Chaconite (13.06.2010). This is a perennial fern with a Holarctic distribution range type; it commonly grows on swampy river banks and lake shores, and in damp swampy forests. It occurs on the territory of almost all of Kazakhstan, except for deserts [3].

Family Sparganiaceae Rudolphi

Sparganium microcarpum Čelak. was recorded only in the Ili River delta, along the shores of Lake Asylbai (15.07.1995, L.E. Ishkov), and in flooded inter-ridge depressions in the Kuktala area (19.06.2010). This is a perennial plant with a European-Siberian range type. It grows along the banks of water bodies of almost the entire flat Kazakhstan including the desert zone, from the Caspian Sea to the Balkhash-Alakol basin [3].

Sparganium stoloniferum (Graebn.) Buch. -Ham. ex Juz. is fairly common along the banks of the Ir and Balakoshkan channels, Lake Chakonit (13.06.2010), as well as the lakes Asaubay, Bogushnoye and Shabarkukan (21.06.2010). This is a larger perennial with a Mountain Siberian-Iranian range type, growing along the banks of rivers, lakes, and tributaries throughout Kazakhstan [3].

Family Juncaginaceae Rich.

Triglochin maritima L. was recorded on the shores of Lake Sorbulak (26.05.2013), as well as in the delta of the Ili River in meadow areas with *Phragmites australis* and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla (19.06.2010). This is a cosmopolitan perennial with a rhizome. It occurs throughout Kazakhstan along lake and river banks, and in wet meadows with slightly saline soils [3].

Family Poaceae Barnhart

Aegilops tauschii Coss. was recorded in the grass layer of turanga sparse forests with *Populus pruinosa* Shrenk on the right bank of the Ili River, slightly below Tamgalytas (18.06.2020) and near the southern edge of the Malaysary pass (16.05.2015), in the altitude range of 428–437 m above sea level [41]. According to the "Flora of Kazakhstan" [3], the distribution range is limited to the adjacent lowlands (Chu-Ili mountains, Zailiyskiy Alatau), although N.N. Tsvelev [27] also included the Southern Balkhash region. This is an annual plant with a Dzhungar-Mediterranean habitat type. It is common in semi-deserts, on clayey crushed stone slopes, from the plains to the middle elevations.

Bromus japonicus Hoult. was recorded as one of the species used in the turanga reforestation (*Populus pruinosa*, *P. diversifolia* Schrenk) on the sandy slopes of the right bank of the Ili River (437 m, 13.06.2020 and 18.06.2020) [38]. This is an annual plant with a Palearctic range and a wide ecological-phylogenetic range; it often grows as a weed on pebbles and sandy soils throughout Kazakhstan.

Calamagrostis pseudophragmites (Haller f.) Koeler (*C. dubia* Bunge (*C. pseudophragmites* subsp. *dubia* (Bunge) Tzvelev) has been recorded in the tugai thickets of the middle course of the Ili River between Tamgalytas and Malaysary (18.06.2020). According to N.P. Ogar [42], this species is an edifier of communities with *Calamagrostis* spp. and *Elytrigia repens* Desv.; it grows along the banks of the channels of the Ili River delta. This is a perennial with a Palearctic distribution range. It grows in tugai forests, along river banks, sometimes on slightly saline soils, from plains to middle elevations almost throughout Central Asia, including the Balkhash-Alakol basin [3, 27].

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. has been recorded only on the sandy banks of the Ili River, 5 km above the settlement Bakanas, in a tugai forest with the participation of *Salix songarica* Andersson, *Elaeagnus angustifolia* L., and *Berberis iliensis*. In Kazakhstan, it has been recorded in the desert regions of Mangyshlak, Muyunkum and Turkestan, and in the lowlands of Western Tien Shan and Zailiyskiy Alatau [3]. Later, N.N. Tsvelev [27] included the South Balkhash region as well. This is an annual plant with a large Palearctic distribution range; it grows on sandy soils, along the banks of rivers and aryks, often as weeds in fields and settlements.

Sclerochloa dura P. Beauv. was recorded in abundance in the flat areas of the turanga forests of the middle course of the Ili River, below the Tamgalytas gorge (18.06.2020). This is an annual plant with an ancient Mediterranean range type; it is mainly confined to weedy areas and is common near roads, in settlements, sometimes in crops, from plains to middle elevations, from the Northern Tien Shan to the Turkestan floristic region [3]. N.N. Tsvelev recorded the species in the Southern Balkhash region [27].

Family Juncaceae Juss.

Juncus articulatus L. was recorded in a tugai forest with the participation of turanga, *Salix songarica*, and *Elaeagnus angustifolia* in the middle part of the Ili River valley, 1–3 km below Tamgalytas (13.06.2020 and 18.06.2020). This is a perennial plant with a Holarctic range type; it grows on sandy shoals, along the banks of rivers and lakes, on plains, and in the mountains throughout Kazakhstan and Central Asia [8, 21].

Juncus compressus Jacq. was recorded together with the previous species in the same place. It is also quite common in the Ili River delta. R.P. Plisak [43] recorded this species in hygrophytic communities on the lake shore in the vicinity of the village Old Koktal and in the floodplain thickets of the Zhideli and Arystan channels. This is a perennial with a Holarctic range type; it grows in river valleys, tugai forests and on the lake shores of almost all flat and mountainous Kazakhstan, including the Pribalkhash plains [21].

Juncus inflexus L. (*J. brachytepalus* V.I.Krecz. & Gontsch.) was recorded in the turanga forests of the middle course of the Ili River (18.06.2020). This is a perennial plant with a Mountainous Middle Asian-Iranian range type growing along the banks of rivers and lakes, and along the streams and aryks of the south-eastern part of Kazakhstan, also in the Balkhash-Alakol depression [8].

Juncus gerardii Loisel. was recorded in thickets of *Elaeagnus angustifolia*, reed, and tamarix in the area of the Pritopar sands (09.06.2010), the channels of Baiminae and Zhideli, and the Kuigan tract (11.06.2010), as well as in the herb-and-reed thickets near the Naryn channel (23.06.2010). This is a common component of communities with *Phragmites australis* and *Calamagrostis epigeios* Steud. in the delta of the Ili River, in particular, in the floodplain of the Arystan channel to the southwest of the village of Karoi [43]. This is a perennial plant with a Palearctic range type growing on the banks of water bodies, in tugai forests, and on wetlands of the whole of Kazakhstan [8].

Family Liliaceae Juss.

Gagea bulbifera Salisb. was observed on clayey and sandy banks of the Ili River near the Kapchagay reservoir (02.04.2006, 15.04.2011, 09.04.2018), as well as in similar habitats downstream of the Ili River, up to Tamgalytas and the Malaysary pass [41]. This is a small bulbous perennial plant with a Pan-Kazakh range type. It grows on crushed stone and fine-ground loess slopes, on plains and in low mountains, in steppe and desert zones, including the Balkhash-Alakol basin, as well as in the low mountains of the Dzhungar Alatau and Northern Tien Shan [8, 18].

In Kazakhstan, the first records of *Gagea jensii* Levichev & Schnittler were made on 10-11.04.2019 in sandy deserts near the road between the village of Bakanas and Karoi (collected by V.A. Kovshar, identified by I.G. Levichev). This is a bulbous perennial plant. It was recently recorded in China, in the vicinity of Urumqi in Xinjiang (hills near a cemetery, 43°43'53"N, 87°35'46"E, 987 m; Yamalik Hill Forest Park, 43°47'26"N, 87°34'21"E, 1,027 m) [44].

Gagea olgae f. *dilatata* Levichev was found in two locations on the southern coast of Lake Balkhash, near the village of Ulken (335 m) and to the north-west of the same settlement (457 m) on 01.04.2015 and 22.04.2015 (collected by V.A. Kovshar, identified by I.G. Levichev). This taxon was described by I.G. Levichev in 1986 using collections of L.S. Krasovskaya from the clay slopes of the foothills of the Chatkal ridge (960 m) and was previously considered endemic to Western Tien Shan [45].

Tulipa kolpakowskiana Regel was recorded on the leveled terraces of the right bank of the Ili River valley, in the Tamgalytas gorge (09-10.04.2018, 13.04.2018), on both sides of the Kapchagai reservoir (21.04.1988, 24.04.1999, 15.04.2011), as well as in the Zhusandala desert, along the Konshengil highway, north-west of the Kurty river canyon (25.04.2018), and in a forest belt near Lake Sorbulak (19.05.2000). This is a bulbous perennial plant with a Dzhungaro-Tian Shan range type. It grows on clayey and less often, on finely crushed and sandy sections of foothill plains, foothills and lowlands, from the Alakol basin to the eastern Karatau. It is common in the southern part of the Pribalkhash plains and along the Ili River valley, up to the Malaysary pass, where it is sometimes found in sparse turanga forests with *Populus pruinosa* [41, 46]. An unfortunate mistake was made in the early work of L.P. Gvozdeva [47], where, in our opinion, the species was described as *Tulipa schrenkii* Regel the range of which does not even reach the Northern Balkhash region, passed to the subsequent reports of S.G. Nesterova and Z.A. Inelova [4], and N.T. Gemedzhieva et al. [36]. The species is listed in the Red Book of Kazakhstan [48].

Family Alliaceae J. Agardh

Allium subscabrum (Regel) R.M. Fritsch (*Allium tulipifolium* var. *subscabrum* Regel, *A. decipiens* Fisch.) was recorded in turanga forests in the middle course of the Ili River valley (16.05.2015, 10.04.2019) [41], as well as in ephemeroïd communities in the vicinity of Kapchagai (13.04.2018, 24.04.2019), on sandy soils. This is a perennial, narrow-local endemic of the Ili River valley and adjacent deserts [49].

Allium trachycordum Vved. was recorded in abundance in crushed stone areas of deserts between the canyon of the Kurty and Konshengil rivers, as well as in the vicinity of the village Aksuek (25-26.04.2018). This is a perennial with a rhizome; it has a Tian Shan range type, the northern part of which stretches into the desert of Betpakdala. It grows on the outcrops of variegated rocks and on crushed stone slopes of low hills [8, 18].

Family Cyperaceae Juss.

Cyperus fuscus L. was recorded by R.P. Plisak [43] in the floodplain of the Zhideli channel. We found it on the right bank of the Ili River, just below Tamgalytas (11.09.2007). This is an annual plant with a Palearctic range type; it grows in wet meadows and on shoals of water bodies, including the Pribalkhash deserts [21].

Eleocharis acicularis (L.) Roem. & Schult. was described by R.P. Plisak [43] as growing on the shoals of the delta tributary of Arystan to the southwest of the village of Karoi. During the survey of the territory of the future Ile-Balkhash natural reserve, it was found in similar conditions along the floodplains of the Baiminay (11.06.2010) and Zhideli (19.06.2010) channels. This is a small perennial dense sod grass with a Holarctic range type; it grows along shoals, sand banks, and shallow waters of rivers, lakes, and river channels, and is common in the southern regions of Kazakhstan [21].

We recorded *Eleocharis argyrolepis* Kierulff in abundance in submerged depressions between the sandy ranges of channels in the vicinity of the village Koskumbez (21.06.2010). This is a larger perennial with an Eastern Ancient-Mediterranean range type; as it is the case with the previous species, it grows along wet and marshy meadows and along the banks of water bodies throughout Central Asia, including the Balkhash-Alakol basin [8].

Pycnus nilagiricus (Hochst. ex Steud.) Schischk. has been recorded in reed communities in the area of the modern delta of the Ili River, and on the right bank of the Zhideli channel [42]. This is a small annual with a cosmopolitan range type, growing on sandy-silt shoals, along the banks of water bodies, and on wet and swampy meadows of plains and foothills of southern Kazakhstan, including the Balkhash-Alakol basin [8, 21].

Scirpus kasachstanicus Dobrochot. is common in the lower reaches of the Topar River (Lake Berkutinoye), along the shores of the lakes near the Zhideli Channel and in the bays of Balkhash, Arkalyk and Moitan Kultuk. It was also found in the shallow waters of a channel in the middle course of the Ili River, between the Tamgalytas gorge and the Malaysary pass (11.09.2007, O.V. Belyalov). This is a large perennial with a rhizome described by K.V. Dobrokhotova using specimens collected on the territory of the modern delta of the Ili River, in the Semizkul strait. It was previously considered a narrow endemic of Kazakhstan, but was later found in the Amu-Darya Delta and Fergana Valley [21]. It is listed in the Red Book of Kazakhstan [48] as "under threat". It is recommended as a monitoring object.

Scirpus lacustris L. was recorded in abundance by R.P. Plisak [43] along the southern shore of Lake Balkhash [43]; we found it in lakes of the modern delta – Shuberkukan, Bogushnoye, Asaubay, Batpachnoye (21.06.2010) – along the banks of the channels Ir and Balakashkan (13.06.2010). This is a large perennial with a rhizome; it has a Holarctic range type, distributed almost throughout Kazakhstan, including the Balkhash-Alakol basin [8].

Family Araceae Juss.

During the survey of the territory of the future Ile-Balkhash natural reserve, *Acorus calamus* L. was found in the grass-and-herb community with *Elaeagnus angustifolia* in the Zhideli channel (349 m; 11.06.2010). This is a strong perennial with a rhizome. It has a Holarctic range type; in Kazakhstan, it is distributed only in the eastern part of the country, from the Irtysh to the Balkhash-Alakol basin. The westernmost distribution location was the Koktal River; it has never been recorded in the valley of the Ili River [8, 50].

Family Polygonaceae Juss.

Polygonum aviculare L. is common in places with burnt reeds and tugai forest. In similar conditions, it has been recorded at the dry bottom of Lake Balkhash (12.06.2010), and in the turanga forests (*Populus pruinosa*) in the middle course of the Ili River, in heavily trampled places (19.04.2016, 18.06.2020) [38, 41]. R.P. Plisak [43] noted its appearance in 1971 in the area of the modern delta of the Ili

River, along the banks of the Zhideli channel. This is an annual with a Holarctic range type, growing as weed throughout Kazakhstan and Central Asia [9, 18]. In the study area, the population numbers are unstable; the plant appears and disappears from year to year.

Polygonum hydropiper L. was recorded by R.P. Plisak [43] on the banks of the Zhideli channel [43]. We recorded the species in a tugai forest with *Elaeagnus angustifolia* on the banks of the Bayminay channel (11.06.2010) and in marsh communities on the banks of the Ili River, just below the Tamgalytas gorge (18.06.2020). This is a coastal-aquatic annual with a Holarctic range type; it grows along the banks of rivers, streams, and arys, from the plains to the middle elevations of all Kazakhstan [9, 18].

Polygonum persicaria L. was recorded by R.P. Plisak [43] in the floodplain of the Zhideli channel (modern delta of the Ili River). This is a cosmopolitan annual; it grows in conditions similar to those of the previous species, i.e. on the banks of water bodies and in humid places, sometimes as weed [9, 18].

Family Chenopodiaceae Vent.

Chenopodium rubrum L. was found in flooded depressions of the Ili River delta, near the Koktal gorge (19.06.2010), as well as along the shores of Lake Sorbulak (26.05.2013) and the Ili River, just below the Tamgalytas gorge (18.06.2020). This is an annual with a Holarctic range type, growing on brackish soils along river valleys and water bodies, sometimes as weeds, almost throughout Kazakhstan. In particular, it has been recorded in the Balkhash-Alakol depression [9, 19]. R.P. Plisak [43] recorded this species in the reed beds of Ahmedsu bay.

Halimione verrucifera (M.Bieb.) Aellen was recorded only in the basin of Lake Alakol, in the south-western part of the Balkhash region between the villages of Aksuek and Burabaytal (26.04.2018). This is a semi-shrub with a South Palearctic range type, growing on brackish meadows and salt marshes of desert and steppe plains of Kazakhstan [9, 19].

Kalidium schrenkianum Bunge ex Ung.-Sternb. was recorded in halophytic communities with the predominance of *Suaeda physophora* Pall. and *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch., on the coastal plains of Lake Balkhash (21.06.2010). This is a dwarf shrub with a Turano - Mountainous Central Asian range type, previously considered endemic to Kazakhstan [9], but was later found in Kyrgyzstan and Tajikistan [19]. It grows along the salt lakes shores in the eastern part of Kazakhstan, from Turgay and the Balkhash-Alakol depression [9].

Family Nymphaeaceae D.C.

Nymphaea candida J.Presl & C.Presl was recorded in two delta lakes, Chakonite and Asaubai (13.06.2010 and 21.06.2010). This is a relic of aquatic flora growing in lakes, river deltas, and bays almost throughout Kazakhstan, except for mountains [10, 19].

Family Ranunculaceae Juss.

Anemone gortschakowii Kar. & Kir. was found only on crushed stone sections of the right bank of the Kapchagay reservoir (13.04.2008, 02.05.2011). This is a perennial with a Dzhungaro-Pamiro-Alai range type, inhabiting crushed stone slopes of the low mountains of Tien Shan and Dzhungar Alatau [10, 19].

Batrachium divaricatum Wimm. was recorded by R.P. Plisak [43] on shoals and in the delta channels of Zhideli and Arystan. This is an aquatic perennial with a Holarctic range type, dwelling in freshwater lakes, rivers, and channels on the plains and in the Tien Shan mountains [19].

Family Brassicaceae Burnett

Camelina microcarpa Andr. ex DC. has been repeatedly recorded in sparse turanga forests on the right bank of the Ili River, from the gorge Tamgalytas to the Malaysary pass (16.05.2015; 11.06.2019; 18.06.2020), as well as in herbal desert communities with a predominance of *Ceratocarpus arenarius* L.

between the settlements of Konshengil and Aksuek (26.04.2018). Everywhere, it has been found in small numbers. This is an annual with a Palearctic range type, growing on loess and sandy hills, near roads and in the fields of plains and foothills of almost all Kazakhstan [10].

Erophila verna (L.) DC. was noted only in the Ili River valley, just below the Tamgalytas gorge, by the road, in a plant community with the participation of *Tulipa kolpakowskiana* (09.04.2018). This is a small early blooming annual with a Euro-Siberian - Ancient Mediterranean range type, growing on the fine ground and crushed stone hill slopes, and in sandy places near roads, from plains to the middle elevations. In Kazakhstan, it occurs from the Caspian and Aral deserts to the foothills of the Western and Northern Tien Shan [20].

Brassica elongate Ehrh. (*Erucastrum armoracioides* Litv.) was recorded in small numbers by the road in the vicinity of Lake Sorbulak and north-west of the Kurta Canyon (19.05.2000), as well as near the water edge on the right bank of the Kapchagai reservoir (28.06.2013, V.G. Epictetov). This is a perennial, less often a biennial with a Palearctic range type, growing near roads, in fields, sometimes in wormwood meadows almost throughout Kazakhstan, including the Balkhash-Alakol basin [10, 20].

Family Resedaceae DC.

Reseda lutea L. was growing as a small group of a dozen flowering individuals in the southern part of Prikaskelen Moyinkums (26.05.2013). This is a perennial with a Holarctic range type, previously known only from Western Kazakhstan and several locations in the Western Tien Shan [10, 20]. In the late twentieth and early twenty-first centuries, it was spreading within the boundaries of Kazakhstan, Uzbekistan and Kyrgyzstan [45, 51-52].

Family Crassulaceae DC.

Rosularia turkestanica A.Berger was found only in the rocky areas of the left bank of the Kapchagai reservoir in the area of the hydroelectric plant (15.04.2005). This is a perennial with the Dzhungaro-Pamiro-Alai distribution type, growing on crushed stone and rocky slopes at middle elevations in the southeast and south of Kazakhstan. It was previously considered endemic to this region [10], but subsequently found in the neighboring countries of Central Asia [20].

Family Grossulariaceae DC.

Ribes saxatile Pall. has been found so far only in one location, on a rocky slope of the right bank of the Ili River, in the Tamgalytas gorge (05.04.2006, 09.04.2018, 26.04.2019). This is a shrub with an Altai-Central-Kazakhstan-Tian Shan distribution type; according to one report [20], it also grows in the Pribalkhash deserts.

Family Rosaceae Juss.

Potentilla virgata Lehm. (*P. dealbata* Bunge) was found in tugai forests with *Hippophae rhamnoides* L. on the right bank of the Ili River, near Bakanas (11.06.1991), as well as in turanga groves above the Tamgalytas gorge (18.06.2020). This is a perennial with a Mountainous Siberian-Mountainous Middle Asian range type, growing along the banks of water bodies, and on wet, sometimes brackish meadows of almost all Kazakhstan [21].

Family Fabaceae Lindl.

Medicago lupulina L. was found in the delta of the Ili River on the right bank of the Zhideli channel, northwest of the settlement Novyj Koktal [42], as well as in the Koskumbez area (20.06.2010) and in the middle of the Ili River valley [38]. This is an annual or biennial with a Palearctic range type, found in meadows, river valleys, and sometimes on deposits throughout Kazakhstan and Central Asia [11, 22].

Medicago trautvetterii Sumnev. was found on the right bank of the Kaskelen River, a few kilometres to the north of the Kapchagai highway (26.05.2013). Information about this finding was published earlier [52]. This is a perennial grass endemic to Kazakhstan, growing in wet basins, solonchak and dry meadows of the Central Kazakhstan shallow hill and desert zone, including the Moiynkums, Zaysan, and Balkhash-Alakol basins [11]. According to later reports [22], the species also grows in Dzhungar Alatau and Tarbagatay, and according to Yu.A. Kotukhov [53], in Western Altai and the Kalbinskiy ridge.

Oxytropis puberula Boriss. is common in the modern Ili delta; it has been found in meadows with *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens* and *Phragmites australis* northwest of the settlement of Novyj Koptal [42], on shoals in the vicinity of the village Karoi and along the banks of the Arystan channel [43]. We found the species in reed beds of flooded inter-ridge depressions near Koskumbez and the Kokzhide channel (18.06.2010). This is a perennial with a Turanian-Mountainous-Middle Asian range type growing along riverbanks and in floodplain meadows of the desert zone [23].

Family Apiaceae Lindl.

Cuminum setifolium Koso-Pol. (*Psammogeton setifolius* Boiss.) was found in sandy areas in the outskirts of a turanga grove with *Populus pruinosa* on the right bank of the Ili River (428 m), near the Malaysary pass (16.05.2015). This is an annual with a Turanian-Mountainous-Middle Asian range type growing in sandy deserts and semi-deserts, from the Aral Sea to the Balkhash-Alakol depression [12, 23].

Hymenolyma bupleuroides (Schrenk ex Fisch. & C.A.Mey.) Korovin was found in abundance in the wormwood-emeretum communities in the Zhusandala desert, between the villages of Konshengil and Aksuek (25.04.2018). This is a monocarpic plant with a Mountainous Central Asian-Central Kazakh range type growing on sandy and crushed stone plains and lowlands; it has been recorded in the Ile-Balkhash region by floristic reports [12, 23].

Turgenia latifolia Hoffm. has been repeatedly recorded as a weed growing on the roadsides: on the left bank of the Kapchagai reservoir in a plant community with *Tulipa kolpakowskiana* (21.04.1988), near Lake Sorbulak (26.05.2013), and in the vicinity of the village of Konshengil (20.05.2000). It is an annual, mainly weedy plant with a Dzhungaro-Mediterranean range type; it often grows in fields and on deposits, on crushed stone and loess soils, and sometimes on fixed sands, from plains to the middle elevations. It has been recorded in the Balkhash-Alakol floristic region [12], although, in a later report [23], only the Zaysan basin and Moyynkums were indicated as the desert distribution range.

Family Primulaceae Vent.

Androsace maxima L. (*Androsace turczaninowii* Freyn) has been described as a common species in crushed stone and sandy areas of the Ili River valley on both banks of the Kapchagai reservoir (15.04.2005, 09.04.2018), in turanga forests between the Tamgalytas gorge and the Malaysary pass (11.06.2019), and on the plateau above the right side of the valley of this area (05.04.2018). This is an early-flowering annual with a Eurasian range type, dwelling on loess hills, pebbles, and crushed stone slopes, from the plains to the upper belt of mountains; it has not been found in the Balkhash-Alakol basin [13]. In later reports, the Pribalkhash deserts were included in the distribution range of this species [24].

Lysimachia vulgaris L. has been found only once along the shores of Lake Asylbay, near the settlement of Karoi (16.08.2005, L.E. Ishkov). This is a perennial with a South Palearctic range type growing along the banks of rivers and lakes, and on floodplain meadows throughout Kazakhstan, except for mountains [13, 24].

Family Menyanthaceae Dumort.

Nymphoides peltata (S.G. Gmel.) Kuntze: in 2010, during the survey of the territory of the future Ile-

Balkhash natural reserve, quite large populations were found in six freshwater lakes of the modern delta of the Ili River – Batpachnoye, Bogushnoye, Shubarkutan, Chakonit-1, Chakonit-2, and Asaubay (13.06.2010, 21.06.2010). This is an aquatic perennial with a rhizome. It has a Palearctic range type and grows in lakes, ponds, and river channels, mainly on the plains, almost throughout Kazakhstan; it has been recorded by the majority of reports in the Balkhash-Alakol basin [13, 24]. Interestingly, V.A. Kostin [54] did not find it in the delta of the Ili River from 1968-1979. The species is listed in the Red Book of Kazakhstan [48]. It is recommended as a monitoring object.

Family Convolvulaceae Juss.

Convolvulus pseudocantabrica Schrenk has been found on sandy sections of the right bank of the Kapchagai reservoir (10.07.1986, 16.05.1995) and in deserts near the settlement of Konshegil (20.05.2000). This is a perennial with a Mountainous Central Asian range type growing on clay slopes and sandstone outcrops from the plains to the upper mountain belts throughout Central Asia [24].

Family Cuscutaceae Dumort.

Cuscuta lehmanniana Bunge was recorded in tugai thickets on the right bank of the Ili River, just above the Tamgalytas gorge (13.06.2020); it was also mentioned in the summary of economically important plants of the Balhash region [36]. This is an annual with a Turanian range type parasitizing on tree and shrub species, and on large grasses in tugai forests, and often in orchards of the whole of South Kazakhstan [13, 24].

Family Boraginaceae Juss.

Heterocaryum rigidum A.DC. has been found in thinned turanga thickets (*Populus pruinoso*) near the Malaysary pass (16.05.2015, 13.04.2016) and in the wormwood-ephemeroid deserts with *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. between the Kurti River canyon and the Konshengil gorge (25.04.2018). This is an annual with a Turanian-Iranian range type, growing on sandy and crushed stone slopes, from the plains to the middle elevations in a large area of Kazakhstan and throughout Central Asia [13, 24].

Lithospermum arvense L. (*Rhytispermum arvense* L.) Rchb.f.) was found in the wormwood-ephemeroid deserts between the canyon of the Kurta River and the Konshengil gorge (25.04.2018). This is an annual with a Palearctic range type growing in river valleys and on sandy, loess and crushed stone soils, from the plains to the middle elevations throughout Central Asia [13, 24].

Lithospermum tenuiflorum L. (Link.) (*Rhytispermum tenuiflorum* (Moris) Rchb.f.) was found on the crushed-stone slopes of the right bank of the Kapchagai reservoir (15.04.2005). This is an annual growth in river valleys, on rocky and crushed stone slopes of foothills, and sometimes as a weed on arable land and deposits. It occurs mainly in the foothills and low mountains of the Dzhungar Alatau and Tien Shan. It has not been found in the Balkhash-Alakol basin [13, 24].

Lycopsis orientalis L. has been found on the right bank of the Ili River in ephemeroid communities with the participation of *Tulipa kolpakowskiana* near the Tamgalytas gorge (13.04.2018), as well as in turanga forests downstream of the river (13.04.2016, 11.06.2019). This is an annual with a Dzhungaro-Mediterranean range type, found on fine-earth and crushed stone slopes, along roads, and often as a weed on arable land and deposits of the southern part of the desert and mountainous Kazakhstan [13].

Myosotis caespitosa Schultz was found by R.P. Plisak [43] on the shore of the Kapchagai reservoir, 2-3 km from the water line, in wormwood grasslands with the participation of *Alhagi pseudalhagi* Desv. This is a perennial with a Palearctic range type confined to wetlands and swampy places along the banks of water bodies, tugai forests, and springs. It is found almost throughout Kazakhstan, including the Balkhash-Alakol depression and the Pribalkhash deserts [13, 24].

Myosotis micrantha Pall. ex Lehm. was found in abundance on the crushed stone slope of the right bank of the Ili River in the Tamgalytas gorge (13.04.2018). This is an annual with a Palearctic range type growing on crushed stone slopes among shrubs, and on pebbles and sandy-silt sediments in the river valleys of Northern, Central and Southern Kazakhstan [24].

Rochelia cardiosepala Bunge was found on the rocky and crushed stone slopes of the left bank of the lower part of the Kapchagai reservoir (15.04.2005). This is an annual with a Mountainous Central Asian-Iranian range type growing on dry river beds, on slopes, and often as weed in the fields and on deposits of southern Kazakhstan, from the plains to the middle elevations; it has been recorded in the Pribalkhash deserts and the Ili River valley [24].

Rochelia retorta (Pall.) Lipsky has been found in sparse forests with *Populus pruinosa* on the right bank of the Ili River, under the Malaysary pass [41]. This is annual with the Mountainous Central Asian range type, a common inhabitant of loess and sandy loam deserts, and crushed stone slopes of foothills. It is more widespread than the previous species and can be found from the Caspian Sea to the entire chain of mountain ranges from Tarbagatay to Western Tien Shan [13].

Family Lamiaceae Lindl.

Lamium amplexicaule L. was found on fine gravel slopes on both shores of the Kapchagai reservoir (21.04.2007, 23.04.2011). This is an early-flowering annual with a Holarctic range type growing on rocky and crushed stone slopes, often as weed near roads, and on deposits from the plains and foothills to the middle elevations. It occurs sporadically almost throughout Kazakhstan [25].

Lycopus exaltatus L.f. occurs along the Ili River banks and in tugai forests of the middle part of the valley below the Tamgalytas gorge (13.06.2020 and 18.06.2020). This is a perennial with a Palearctic range type growing in tugai thickets, along the banks of rivers and lakes from the plains to the middle elevations of almost all of Kazakhstan [13, 25].

Mentha asiatica Boriss. was found in the coastal turanga thickets (*Populus pruinosa*, *P. diversifolia*) just below the Tamgalytas gorge (18.06.2020). In previous years, N.P. Ogar [42] found this species in ravine meadows along the banks of the channels of the modern delta of the Ili River. This is a perennial with an Altai-Iranian range type growing along the banks of streams and aryks, in the river valleys from the plains to the middle elevations. It is found throughout Central Asia, including the mountains of southern Kazakhstan, but has not been recorded in the Balkhash-Alakol basin and the Ili River valley [13, 25].

Nepeta cataria L. was repeatedly found at only one point, on the crushed-stone slope of the right bank of the Ili River, in the thickets of the Tamgalytas gorge (09.06.2018, 26.04.2019). This is a perennial with a Palearctic range type growing in shrublands, on stony slopes, often as weed, and occurring sporadically throughout Kazakhstan [25].

Paraeremostachys dshungarica (Popov) Adylov, Kamelin & Makhm. (*Eremostachys dshungarica* (Popov) Golosk.) was found in two locations in the southwestern part of the region: in the Akdala gorge (06.05.2005) and in the Konshengil gorge (20.05.2000). This is a perennial with a Dzhungaro-Eastern Tien Shan range type, growing along the foothills and on plains with sandy and crushed stone soils; it has been recorded in the Balkhash-Alakol basin and the Pribalkhash deserts [13, 25].

Phlomooides gymnocalyx (Schrenk) Adylov, Kamelin & Makhm. (*Eremostachys gymnocalyx* Schrenk) has been recorded in plant communities with artemisia (*Artemisia terrae-albae* Krasch., *Artemisia turanica* Krasch.) and ephemerooids (*Poa bulbosa* L., *Tulipa buhseana* Boiss.) in the Taucuma desert (25.06.2018) and in the vicinity of the village of Aydarly (27.05.1998), as well as in plant communities with the participation of *Carex physodes* M.Bieb. in one case and *Salsola orientalis* S.G.Gmel., *Salsola arbusculiformis* Drobow, *Nanophyton erinaceum* Bunge in the other case. This is a perennial with a Dzhungaro-North Tien Shan range type endemic to Kazakhstan. It grows on the sandy soils of the plains and foothills of the Balkhash-Alakol depression, the Chu-Ili mountains, and the western part of the Dzhungar Alatau [13, 25].

Salvia aethiopsis L. has been repeatedly recorded near the roads in the vicinity of the Kapchagai reservoir (11.07.1986, 24.06.1987, 30.05.2016, 13.06.2020), on the Arkharly pass (13.06.1993), on roadsides between the village of Saryozek and the Altyn-Emel Pass (02.06.2002), on the Altyn-Emel Pass (06.06.2016), and in the Kaskelen (01.05.2015, 10.06.2016). The species has been spreading in recent decades. In some cases, numerous populations of the species were found on the desert plains, occupying an area of more than 1 km², for example, near the highway leading to Bakanas, in the vicinity of Kerbulak (13.06.2020); whereas in the inland part of the valley of the Ili River, only single individuals were found (18.06.2020). In June 2021, extensive thickets of the species were registered by us in the village of Saryozek, where we didn't find it a few years ago. This is a perennial with a Dzhungaro-Mediterranean range type. In the "Flora of Kazakhstan" [13], it was mentioned as growing in Karatau and the Chu-Ili mountains, and later, in the Kyrgyz Alatau [25], although a little earlier V.P. Goloskokov [28] had already described it as part of the flora of the Dzhungar Alatau.

Salvia deserta Schangin has been repeatedly noted near the road in the vicinity of the Kapchagai reservoir and the area of Kerbulak along the highway to Bakanas (24.06.1987, 13.06.2020), as well as in dry meadow-steppe sections in the Ili River valley. In addition, the species was found in the floodplain of the middle part of the Ili River valley in dry steppe areas, in the sparse forests of *Elaeagnus angustifolia* (02.06.2019). This is a perennial with a Pan-Kazakh range type growing in dry meadows and in steppes, on mountain slopes, and in river valleys, often as a weed near roads, housing, and sometimes in crops. It is distributed almost throughout Kazakhstan [13, 25].

Family Solanaceae Juss.

Hyoscyamus niger L. occurs sporadically, most often as single individuals throughout the Ili River valley to the modern delta [38]. It was also recorded by N.G. Gemedzhieva et al. [36]. This is a weedy annual with a Palearctic range type, growing near roads, housing, on deposits, and on arable land throughout Kazakhstan. Its distribution and abundance, as it is also the case with some other annual weeds, are not stable.

Family Scrophulariaceae Juss.

Verbascum songoricum Schrenk has been repeatedly recorded near roads in the Kapchagai reservoir and along the Bakanas highway, up to the Malaysary pass (24.06.1987; 30.04.2009; 13.06.2020), as well as in the area of Lake Sorbulak (26.05.2013). This is a biennial with a Mountainous Central Asian-Iranian range type growing in river valleys, at the roadsides, and on deposits and slopes from the plains to the upper belt of mountains. The species is widely distributed almost throughout Kazakhstan but has not been recorded in the Balkhash-Alakol basin [14, 25].

Family Orobanchaceae Vent.

Cistanche ambigua Beck was found in saxaul thickets near the southeastern bay of Lake Balkhash (26.04.2018). This is a perennial with a Mongolian-Turkish-Iranian range type growing on sands, along the channels of dried rivers of the Southern part of the desert zone of Kazakhstan, including the Balkhash region [14, 26].

Orobanche cernua Loefl. was found in the wormwood deserts near the village Konshengil (08.05.2005). This is a perennial with a Mountainous-Mediterranean range type growing on sands, in tugai forests, and on crushed-stone slopes from the plains to the middle ranges of southern Kazakhstan, including the Pribalkhash deserts [14, 26].

Family Valerianaceae Batsch.

Valeriana chionophila Popov & Kult. was found on rocky slopes of the left bank of the Kapchagay reservoir in the hydroelectric plant (15.04.2005, 09.04.2018). This is a tuberous perennial with a Tian Shan-Pamiro-Alai range type growing in crushed stone areas of flat deserts and mountain slopes; it has

been found also in the Ili River valley [26]. The species is listed in the Red Book of Kazakhstan [48]. It is proposed as a monitoring object.

Valerianella plagiostephana Fisch. & C.A.Mey. was found in the wormwood deserts to the southeast of the settlement Konshengil (25.04.2018) and in the vicinity of the village Aksuek (26.04.2018). This is an annual with a Mountainous Central Asian-Iranian range type growing on clay and crushed stone soils of plains and mountains of southern Kazakhstan [14, 26].

Valerianella szovitsiana Fisch. & C.A.Mey. was found on rocky slopes of the left bank of the Kapchagai reservoir (30.04.2009). This is an annual with a Dzhungaro-Mediterranean range type growing in conditions like that of the previous species, including in the Balkhash region [26].

Family Asteraceae Dumort.

Bidens tripartita L. was found in the delta part of the Ili River valley in the vicinity of the village Koktal (19.06.2010), as well as in reed beds and inland communities of the Zhideli and Arystan channels [42-43]. It occurs sporadically, and its presence, as is the case with some other annuals, is not stable – in some years it appears and then disappears. For this reason, this species is not on the floristic list of one of the major economically important plant surveys accomplished in the region studied [36]. This is a cosmopolitan annual growing along the banks of rivers, lakes and springs, on marshes, and sometimes as a weed on irrigated lands throughout Kazakhstan and Central Asia [14, 26].

Brachyactis ciliata Ledeb. R.P. Plisak [43] described the plant as a part of reed (*Phragmites australis*) and mixed-grass communities along the banks of the Ili River and in flooded depressions in the modern delta. This is an annual with a Mountainous Siberian-Mountainous-Middle Asian habitat type, growing on wet, slightly saline soils of near-water habitats of the entire Kazakhstan [14].

Cephalorrhynchus soongoricus (Regel) Kovalevsk. was found on a rocky and crushed stone slope of the right bank of the Ili River in the Tamgalytas gorge (26.04.2019). This is a perennial with a Dzhungaro-Pamiro-Alai range type growing among shrubs on the mountain slopes of southern and southeastern Kazakhstan; it was also found in the Balkhash-Alakol basin [15, 26].

Erigeron nigrimontanus Popov (*Psychrogeton nigromontanus* (Boiss. & Buhse) Grierson) was found by R.P. Plisak and N.P. Ogar [42-43] in wet meadows of the modern delta of the Ili River. This is a biennial with a Turanian-Iranian range type growing in meadows, near springs, and often as a weed in the fields throughout the south of Kazakhstan, except for high mountains [14, 26].

Lachnophyllum gossypinum Bunge occurs scattered in the middle of the Ili River valley. It was found by us as part of sedge-grass deserts with the participation of *Salvia aethiopsis* near the Kapchagai-Kerbulak highway (13.06.2020). This is an annual with a Mountainous Middle Asian Iranian range type growing on clayey and crushed stone soils of desert plains and foothills of southern Kazakhstan; it has not been recorded in the Balkhash-Alakol basin and the Pribalkhash deserts [14, 26].

Lactuca serriola L. (*Lactuca scariola* L.) was found in turanga forests of the middle course of the Ili River (18.06.2020). The species is quite common in wormwood meadows of the modern delta of the Ili River [42], as well as in the reed beds with *Alhagi kirghisorum* and *Krascheninnikovia ceratoides*, and in burnt tugai forests with *Elaeagnus angustifolia* in the Zhideli Channel and the Kokzhide gorge (17.06.2010). This is an annual, less often a biannual with a Holarctic range type growing on coastal pebbles, dry slopes, among shrubs, often as weed on deposits, fields and near roads. It is found throughout Kazakhstan and Central Asia [15, 26].

Lactuca undulata Ledeb. was found in desert communities on the right bank of the Kapchagai reservoir near the exit to the Kapchagai-Bakanas highway (17.06.1986). This is a smaller annual with a Dzhungaro-Iranian range type found on sandy and clay soils, inland pebbles, and sometimes on crashed stone slopes of plains and mountains throughout Kazakhstan and Central Asia [15, 26].

Pseudohandelia umbellifera (Boiss.) Tzvelev was found growing sporadically on the plains in the vicinity of Lake Sorbulak (19.05.2000, 26.05.2013, O.V. Belyalov), in desert communities on the edge of

turanga forests on the right bank of the Ili River under the Malaysary pass (16.05.2015), and near the highway north of the Kerbulak gorge (15.05.1995). This is a biennial, rarely a perennial with a Dzhungaro-Iranian range type growing on sands, loess, and crushed stone slopes of hills of flat deserts of southern Kazakhstan and along the foothills of mountains, from Dzhungar Alatau to Western Tien Shan [15].

Pulicaria vulgaris Gaertn. (*Pulicaria prostrata* Asch.) was found along the bank of a channel in the middle course of the Ili River, below the Tamgalytas gorge (11.09.1987). This is an annual with a Palearctic range type growing in wet meadows, near water bodies, and sometimes as weed near roads and in crops. It is found almost throughout Kazakhstan and Central Asia, except in the mountains. The species has been found also in the Pribalkhash deserts [14, 26].

Steptorhamphus crassicaulis (Trautv.) Kirp. was found on the crushed stone slopes of the left bank of the Kapchagai reservoir near the hydroelectric plant (30.04.2009). In similar habitats, it was recorded along the right bank of the reservoir, 10-15 km upstream [40]. This is a perennial with the Dzhungaro-Pamiro-Alai range type growing on dry crushed stone slopes, sometimes in the rock cracks, in the lower and middle mountain belts of the south and southeast of Kazakhstan [15, 26].

Conclusion

Over the years of research in the Ile-Balkhash region, and taking into account the analysis of available scientific publications, the authors additionally identified 86 plant species from 69 genera and 31 families not listed in the last generalized summary by S.G. Nesterova and Z.A. Inelova [4]. Of those, cryptogams were represented by one species; monocotyledons, by 24 species from 16 genera and 8 families; and dicotyledons, by 60 species from 52 genera and 22 families. By the vegetation type, the species were distributed as follows: tugai, including turanga forests, 20 species; grassy marshes and aquatic ecosystems, 9 species; meadows, 17 species; plain deserts, 18 species; foothill deserts of the petrophytic type, 21 species. Four species were rare and listed in the Red Book of Kazakhstan, and one species (*Gagea jensii* Levichev & Schnittler) described in China was first discovered in Kazakhstan.

Due to the unstable ecological situation in the region which affects, among other things, the species composition of plant communities, we propose to include the following vegetation types in the floristic monitoring system:

turanga forests;

tugai forests with *Hippophae rhamnoides*, *Berberis iliensis*, *Lonicera iliensis* in the Bakanas area;

grass marshes and aquatic areas with *Nymphoides peltata* and *Nymphaea candida*, in particular in the area of the modern delta.

We recommend conducting monitoring studies in these types of vegetation at least once every 10 years.

New species discoveries indicate that there is great potential for previously undiscovered plants in the region, which is of great scientific and practical interest.

Funding. This study was funded by the Ministry of Ecology, Geology, and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (BR10263776).

Acknowledgements. The authors are grateful to I.G. Levichev for determining the species of the genus *Gagea*, to O.V. Belyalov, V.A. Kovshar, B.M. Sultanova, V.G. Epictetov, for taking part in expeditions, as well as to M.E. Abidkulov and V.Y. Ishkov, for facilitating field visits.

Список литературы

1. Липка О.Н., Мазманянц Г.М., Исупова М.В., Алейников А.А., Замолотчиков Д.Г., Каганов В.В. Подходы к разработке крупномасштабных проектов по адаптации к изменениям климата на основе экосистем в дельте р. Или (Казахстан) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2020. – Т. 32. – № 3-4. – С. 88-119.
2. Королева Е.Г., Дикарева Т.В., Дикарев В.А. Оценка природно-обусловленных опасностей в природном резервате «Иле-Балхаш» (Казахстан) // Аридные экосистемы. – 2019. – Т. 25. – № 4(81). – С. 61-70.
3. Флора Казахстана. Т. 1. – Алма-Ата: АН КазССР, 1956. – 354 с.
4. Нестерова С.Г., Инелова З.А. Флора пустынь Иле-Балхашского региона. – Алматы: Казак университети, 2012. – 190 с.
5. Thevs N. Forest Landscape Restoration in the Caucasus and Central Asia. Background study for the Ministerial Roundtable on Forest Landscape Restoration in the Caucasus and Central Asia. – Astana, 2018. 1-65 p.
6. Zeng Y., Zhao C., Kundzewicz Z.W., Lv G. Distribution pattern of Tugai forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China // PLoS ONE. – 2020. – V. 15. – N. 5. – e0232907.
7. IPNI. 2021. International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. [Retrieved 01 October 2021].
8. Флора Казахстана. Т. 2. – Алма-Ата: АН КазССР, 1958. – 305 с.
9. Флора Казахстана. Т. 3. – Алма-Ата: АН КазССР, 1960. – 477 с.
10. Флора Казахстана. Т. 4. – Алма-Ата: АН КазССР, 1961. – 548 с.
11. Флора Казахстана. Т. 5. – Алма-Ата: АН КазССР, 1961. – 516 с.
12. Флора Казахстана. Т. 6. – Алма-Ата: АН КазССР, 1963. – 466 с.
13. Флора Казахстана. Т. 7. – Алма-Ата: АН КазССР, 1964. – 515 с.
14. Флора Казахстана. Т. 8. – Алма-Ата: АН КазССР, 1965. – 466 с.
15. Флора Казахстана. Т. 9. – Алма-Ата: АН КазССР, 1966. – 651 с.
16. Абдулина С.А. Сосудистые растения Казахстана. – Алматы: Стека, 1998. – 188 с.
17. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 1. – Ташкент: Фан, 1968. – 229 с.
18. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 2. – Ташкент: Фан, 1971. – 364 с.
19. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 3. – Ташкент: Фан, 1972. – 268 с.
20. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 4. – Ташкент: Фан, 1974. – 275 с.
21. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 5. – Ташкент: Фан, 1976. – 276 с.
22. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 6. – Ташкент: Фан, 1981. – 397 с.
23. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 7. – Ташкент: Фан, 1983. – 416 с.
24. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 8. – Ташкент: Фан, 1986. – 192 с.
25. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 9. – Ташкент: Фан, 1987. – 402 с.

26. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. Т. 10. – Ташкент: Фан, 1993. – 692 с.
27. Цвелев Н.Н. Злаки СССР. – Москва: Наука, 1976. – 788 с.
28. Голоскоков В.П. Флора Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 222 с.
29. Rachkovskaya E.I., Volkova E.A., Khramtsov V.N. (eds.) Botanical Geography of Kazakhstan and Middle Asia (Desert Region). – St. Petersburg: Komarov Botanical Institute, 2003. – 424 p.
30. Курочкина Л.Я. Растительность песчаных пустынь Казахстана // Растительный покров Казахстана. Т. 1. – Алма-Ата: АН КазССР, 1966. – 191-582 с.
31. Кубанская З.В. Солянковыи пустыни Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1980. – 206 с.
32. Плисаk Р.П. Смена растительности современной реки Или в связи с изменением гидрологического режима // Структура и продуктивность растительности пустынной зоны Казахстана. – Алма-Ата: АН КазССР, 1978. – 109-122 с.
33. Levichev I.G. The synopsis of the genus *Gagea* (Liliaceae) from the Western Tien-Shan // Botanicheskii Zhurnal. – 1990. – V. 75. – N. 2. – P. 225-234.
34. Peterson A., Harpke D., Levichev I.G., Beisenova S., Schnittler M., Peterson J. Morphological and molecular investigations of *Gagea* (Liliaceae) in southeastern Kazakhstan with special reference to putative altitudinal hybrid zones // Plant Systematics and Evolution. – 2016. – V. 302. – N. 8. – P. 985-1007.
35. Christenhusz M.J.M., Govaerts R., David J.C., Hall T., Borland K., Roberts P.S., Tuomisto A., Buerki S., Chase M.W., Fay M.F. Tiptoe through the tulips - cultural history, molecular phylogenetics and classification of *Tulipa* (Liliaceae) // Botanical Journal of the Linnean Society. – 2013. – V. 172. – N. 3. – P. 280-328.
36. Гемеджиева Н.Г., Грудзинская Л.М., Каржаубекова Ж.Ж., Курбатова Н.В. Ресурсная характеристика хозяйственно-ценных растений Прибалхашья (цистанхе, ремень гармала, солодка): монография. Труды института ботаники и фитоинтродукции. Т. 23 (9). – Алматы: Институт ботаники и фитоинтродукции, 2017. – 224 с.
37. Иващенко А.А., Султанова Б.М. Анализ флоры проектируемого Иле-Балхашского природного резервата // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геоботаники», посвященной памяти выдающегося ученого, основоположника казахстанской ботанической школы, академика НАН РК, д.б.н. Б. А. Быкова в связи с 100-летием со дня рождения. – Алматы, Институт ботаники и фитоинтродукции, 2011. – 349 с.
38. Бегенов А.Б., Аметов А.А., Есжанов Б.Е., Абидкулова К.Т., Сатыбалдиева Г.К., Тыныбеков Б.М., Баймурзаев Н.Б., Чилдибаева А.Ж. Методическое руководство по проведению учебной практике по ботанике – Алматы: Қазақ университеті, 2015. – 78 с.
39. Султанова Б.М., Рачковская Е.И., Иващенко А.А., Березовиков Н.Н., Евстифеев Ю.Г., Грюнберг В.В., Малахов Д.В., Кертешев Т.С., Белгубаева А.Е. Биологическое разнообразие проектируемого Иле-Балхашского природного резервата // Вестник КазНУ. Серия экологическая. – 2012. – Т. 1. – № 33. – С. 230-233.
40. Иващенко А.А., Эпиктетов В.Г. Дополнения к флоре национального парка «Алтын Эмель» // Материалы международной научной конференции «Интродукция растений: современное состояние, проблемы и перспективы». – Харьков: Коллегиум, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 2019. – 474 с.
41. Stikhareva T., Ivashchenko A., Kirillov V., Rakhimzhanov A. Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2021. – V. 45. – N. 2 - P. 165-178.
42. Огарь Н.П. Сезонная и разногодичная изменчивость луговых сообществ, их продуктивность / Динамика луговой растительности долины реки Или // Динамика пойменной растительности рек Чу и Или. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 85-133 с.

43. Плисак Р.П. Изменение растительности дельты реки или при зарегулировании стока. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 216 с.
44. Peterson A., Levichev I.G., Peterson J., Harpke D., Schnittler M. New insights into the phylogeny and taxonomy of Chinese species of *Gagea* (Liliaceae) - speciation through hybridization // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2011. – V. 11. – N. 5. – P. 387-407.
45. Красовская Л.С., Левичев И.Г. Флора Чаткальского заповедника. – Ташкент: ФАН, 1986. – 176 с.
46. Иващенко А.А., Беялов О.В. Казахстан – родина тюльпанов. – Алматы: Атамұра, 2019. – 368 с.
47. Гвоздева Л.П. Растительность и кормовые ресурсы пустыни Сары-Ишик-Отрау. – Алма-Ата: АН КазССР, 1960. – 203 с.
48. Красная книга Казахстана. Т.2, Ч. 2. Растения (Изд.-е 2-е, исправленное и дополненное). – Астана: LTD "Art-Print XXI", 2014. – 452 с.
49. Friesen N., Smirnov S.V., Leweke M., Seregin A.P., Fritsch R.M. Taxonomy and Phylogeny of *Allium* section *Decipientia* (Amaryllidaceae): Morphological characters do not reflect the evolutionary history verified by molecular markers // *Botanical Journal of the Linnean Society*. – 2021. – V. 197. – N. 2. – P. 190-228.
50. Ролдугин И.И. Аир (*Acorus calamus* L.) в Балхаш-Алакульской впадине // Труды Института ботаники АН КазССР. – 1964. – Т. 18. – С. 31-40.
51. Лазьков Г.А., Султанова Б.А. Кадастр флоры Кыргызстана. Сосудистые растения. – Бишкек: Национальная академия наук Кыргызской Республики, 2014. – 126 с.
52. Иващенко А.А., Беялов О.В. Новые флористические находки на юге и юго-востоке Казахстана // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. – 2015. – № 21. – С. 94-100.
53. Байтулин И.О., Котухов Ю.А. Флора сосудистых растений Казахстанского Алтая. – Алматы: Konica Minolta, 2011. – 158 с.
54. Костин В.А. Редкие и исчезающие виды высших водных растений водоемов реки Или и озера Балхаш // Ботанические материалы Гербария Института ботаники Академии наук Казахской ССР. – 1983. – Вып. 13. – С. 111-115.

А.А. Иващенко¹, Т.Н. Стихарева¹, К.Т. Абидкулова², В.Ю. Кириллов¹, А.Н. Рахимжанов¹

¹Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты, Щучинск, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Іле-Балқаш өңірінің тоғайлы ормандары мен іргелес шөлдері флорасына қосымша

Аңдатпа. Авторлардың көпжылдық зерттеулерінің нәтижелері бойынша әдеби деректерді талдауды ескере отырып, Іле-Балқаш шөлді өңірінің флорасына толықтырулар келтіріледі, олардың құрамына 69 туыстың, 31 тұқымдастың 86 түрі кіреді. Ең қызықты олжалардан Қазақстан аумағында алғаш рет табылған *Gagea jensii* Levichev & Schnittler; жақында сипатталған Іле өңірі шөлдерінің шағын жергілікті эндемигі *Allium subscabrum* (Regel) R. M. Fritsch; сондай-ақ Қазақстанның Қызыл кітабына енгізілген төрт түрі аталып өтілген. Зерттелген аймақтағы тұрақсыз экологиялық жағдайды және жоғары өсімдіктердің түрлік құрамының осыған байланысты өзгеруін ескере отырып, ең осал өсімдіктер қауымдастықтарында – Іле өзені алқабының тоғайлы ормандарында, қазіргі дельтаның су және су маңы қауымдастықтарында флористикалық мониторинг жүргізу ұсынылады.

Түйін сөздер: флора, түрлер тізімі, экожүйе, шөлейттену, ареал типі, мониторинг.

А.А. Иващенко¹, Т.Н. Стихарева¹, К.Т. Абидкулова², В.Ю. Кириллов¹, А.Н. Рахимжанов¹

¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, Щучинск, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Дополнение к флоре тугайных лесов и прилегающих пустынь Иле-Балхашского региона

Аннотация. По результатам многолетних исследований авторов с учетом анализа литературных данных приводятся дополнения к флоре пустынного Иле-Балхашского региона, которые включают 86 видов из 69 родов и 31 семейства. Из самых интересных находок отмечаются *Gagea jensii* Levichev & Schnittler, впервые обнаруженный на территории Казахстана; *Allium subscabrum* (Regel) R.M. Fritsch, недавно описанный узколокальный эндемик Приилийских пустынь, а также четыре вида, занесенные в Красную книгу Казахстана. Учитывая нестабильную экологическую ситуацию в обследованном регионе и связанные с этим изменения видового состава высших растений, рекомендуется проводить флористический мониторинг в наиболее уязвимых растительных сообществах – тугайных лесах долины р. Или, водных и околородных сообществ современной дельты.

Ключевые слова: флора, список видов, экосистема, опустынивание, тип ареала, мониторинг.

References

1. Lipka O.N., Mazmaniantz G.M., Isupova M.V., Aleynikov A.A., Zamolodchikov D.G., Kaganov V.V. Podhody k razrabotke krupnomasshtabnyh proektov po adaptacii k izmeneniyam klimata na osnove ekosistem v del'te r. Ili (Kazakhstan) [Approaches to a large-scale ecosystem-based adaptation project development in the Ili River delta (Kazakhstan)], Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem [Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling], 32(3-4), 88-119 (2020). [in Russian]
2. Koroleva E.G., Dikareva T.V., Dikarev V.A. Ocenka prirodno-obuslovlennykh opasnostej v prirodnom rezervate «Ile-Balhash» (Kazakhstan) [Assessment of natural hazards in the Ile-Balkhash nature reserve (Kazakhstan)], Aridnye ekosistemy [Arid Ecosystems], 9(4), 264-272 (2019). [in Russian]
3. Flora Kazahstana. T. 1 [Flora of Kazakhstan. V. 1] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1956, 354 p.). [in Russian]
4. Nesterova S.G., Inelova Z.A. Flora pustyn' Ile-Balhashskogo regiona [Flora of the deserts of the Ile-Balkhash region] (Almaty, Kazakh University, 2012, 190 p.). [in Russian]
5. Thevs N. Forest Landscape Restoration in the Caucasus and Central Asia. Background study for the Ministerial Roundtable on Forest Landscape Restoration in the Caucasus and Central Asia (Astana, 2018, 1-65 p.).
6. Zeng Y., Zhao C., Kundzewicz Z.W., Lv G. Distribution pattern of Tugai forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China, PLoS ONE, 15(5), e0232907 (2020).
7. IPNI. 2021. International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. [Retrieved 01 October 2021].
8. Flora Kazahstana. T. 2 [Flora of Kazakhstan. V. 2] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1958, 305 p.). [in Russian]
9. Flora Kazahstana. T. 3 [Flora of Kazakhstan. V. 3] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1960, 477 p.). [in Russian]

10. Flora Kazahstana. T. 4 [Flora of Kazakhstan. V. 4] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1961, 548 p.). [in Russian]
11. Flora Kazahstana. T. 5 [Flora of Kazakhstan. V. 5] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1961, 516 p.). [in Russian]
12. Flora Kazahstana. T. 6 [Flora of Kazakhstan. V. 6] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1963, 466 p.). [in Russian]
13. Flora Kazahstana. T. 7 [Flora of Kazakhstan. V. 7] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1964, 515 p.). [in Russian]
14. Flora Kazahstana. T. 8 [Flora of Kazakhstan. V. 8] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1965, 466 p.). [in Russian]
15. Flora Kazahstana. T. 9 [Flora of Kazakhstan. V. 9] (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1966, 651 p.). [in Russian]
16. Abdulina S.A. Sosudistye rasteniya Kazahstana [Vascular plants of Kazakhstan]. (Steka, Almaty, 1998, 188 p.). [in Russian]
17. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory. T. 1 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 1] (Fan, Tashkent, 1968, 229 p.). [in Russian]
18. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory. T. 2 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 2] (Fan, Tashkent, 1971, 364 p.). [in Russian]
19. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 3 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 3] (Fan, Tashkent, 1972, 268 p.). [in Russian]
20. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 4 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 4] (Fan, Tashkent, 1974, 275 p.). [in Russian]
21. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 5 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 5] (Fan, Tashkent, 1976, 276 p.). [in Russian]
22. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 6 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 6] (Fan, Tashkent, 1981, 397 p.). [in Russian]
23. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 7 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 7] (Fan, Tashkent, 1983, 416 p.). [in Russian]
24. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 8 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 8] (Fan, Tashkent, 1986, 192 p.). [in Russian]
25. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 9 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 9] (Fan, Tashkent, 1987, 402 p.). [in Russian]
26. Opredelitel rastenij Srednei Azii. Kriticeskij konspekt flory, T. 10 [Determinant of plants of Central Asia. Critical synopsis of flora. V. 10] (Fan, Tashkent, 1993, 692 p.). [in Russian]
27. Tsvelev N.N. Zlaki SSSR [Poaceae of the USSR]. (Science, Moscow, 1976, 788 p.). [in Russian]
28. Goloskokov V.P. Flora Dzhungarskogo Alatau [Flora of the Dzungar Alatau]. (Science, Alma-Ata, 1984, 222 p.). [in Russian]
29. Rachkovskaya E.I., Volkova E.A., Khramtsov V.N. (eds.) Botanical Geography of Kazakhstan and Middle Asia (Desert Region). (Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, 2003, 424 p.).
30. Kurochkina L.Ya. Rastitel'nost' peschanyh pustyn' Kazahstana [The vegetation of the sandy deserts of Kazakhstan], Rastitel'nyj pokrov Kazahstana [The vegetational cover of Kazakhstan]. (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1966, P. 191-582). [in Russian].
31. Kubanskaya Z.V. Solyankovyje pustyni Kazahstana [*Salsola* deserts of Kazakhstan]. (Science, Alma-Ata, 1980, 206 p.). [in Russian]
32. Plisak R.P. Smena rastitel'nosti sovremennoj reki Ili v svyazi s izmeneniem gidrologicheskogo rezhima [Change of vegetation of the modern Ili River due to a change of the hydrological regime], Struktura i produktivnost' rastitel'nosti pustynnoj zony Kazahstana [Structure and productivity of vegetation of the desert zone of Kazakhstan]. (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1978, P. 109-122). [in Russian]

33. Levichev I.G. The synopsis of the genus *Gagea* (Liliaceae) from the Western Tien-Shan, *Botanicheskii Zhurnal*, 75(2), 225-234 (1990).
34. Peterson A., Harpke D., Levichev I.G., Beisenova S., Schnittler M., Peterson J. Morphological and molecular investigations of *Gagea* (Liliaceae) in southeastern Kazakhstan with special reference to putative altitudinal hybrid zones, *Plant Systematics and Evolution*, 302(8), 985-1007 (2016).
35. Christenhusz M.J.M., Govaerts R., David J.C., Hall T., Borland K., Roberts P.S., Tuomisto A., Buerki S., Chase M.W., Fay M.F. Tiptoe through the tulips - cultural history, molecular phylogenetics and classification of *Tulipa* (Liliaceae), *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(3), 280-328 (2013).
36. Gemedzhieva N.G., Grudzinskaya L.M., Karzhaubekova Zh.Zh., Kurbatova N.V. Resursnaya karakteristika hozyajstvenno-cennyh rastenij Pribalhash'ya (cistanhe, reven' garmala, solodka): monografiya. Trudy instituta botaniki i fitointrodukcii. T. 23 (9). [Resource characteristics of economically valuable plants of the Balkhash region (cistanche, rhubarb garmala, licorice): monograph. Works of the Institute of Botany and Phytointroduction. Vol. 23 (9)]. (Institute of Botany and Phytointroduction, Alma-Ata, 2017, 224 p.). [in Russian]
37. Ivashchenko A.A., Sultanova B.M. Analiz flory proektiruemogo Ile-Balhashskogo prirodnogo rezervata. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy geobotaniki», posvyashchennoj pamyati vydayushchegosya uchenogo, osnovopolozhnika kazhstanskoy botanicheskoy shkoly, akademika NAN RK, d.b.n. B. A. Bykova v svyazi s 100-letiem so dnya rozhdeniya [Analysis of the flora of the projected Ile-Balkhash natural reserve. Materials of the International Scientific and Practical Conference "Actual problems of geobotany" dedicated to the memory of the outstanding scientist, founder of the Kazakh Botanical School, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Biological Sciences B. A. Bykov in connection with the 100th anniversary of his birth]. Almaty, May 11-13, 2011. Almaty, Institute of Botany and Phytointroduction. 2011, 349 p. [in Russian]
38. Begenov A.B., Ametov A.A., Eszhanov B.E., Abidkulova K.T., Satybaldieva G.K., Tynybekov B.M., Baymurzaev N.B., Childibaeva A.Z. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu uchebnoj praktike po botanike [Methodological guide for conducting educational practice in botany]. (Kazak universiteti, Almaty, 2015, 78 p.). [in Russian]
39. Sultanova B.M., Rachkovskaya E.I., Ivashchenko A.A., Berezovikov N.N., Evstifeev Y.G., Gryunberg V.V., Malakhov D.V., Kerteshev T.S., Belgubaeva A.E. Biologicheskoe raznoobrazie proektiruemogo Ile-Balhashskogo prirodnogo rezervata [Biological diversity of the projected Ile-Balkhash natural reserve], *Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya [Eurasian Journal of Ecology]*, 1(33), 230-233 (2012). [in Russian]
40. Ivashchenko A.A., Epitketov V.G. Dopolneniya k flore nacional'nogo parka «Altyn Emel'». Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Introdukciya rastenij: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy» [Additions to the flora of the National Park "Altyn Emel". Materials of the international scientific conference and schools "Plant introduction: current state, problems and prospects"]. Kharkiv, May 14-17, 2019. Kharkiv: Collegium, V.N. Karazin Kharkiv National University. 2019. 474 p. [in Russian]
41. Stikhareva T., Ivashchenko A., Kirillov V., Rakhimzhanov A. Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(2), 165-178 (2021).
42. Ogar' N.P. Sezonnaya i raznogodichnaya izmenchivost' lugovyh soobshchestv, ih produktivnost' / Dinamika lugovoj rastitel'nosti doliny reki Ili [Seasonal and multi-annual variability of meadow communities, their productivity / Dynamics of meadow vegetation of the Ili River valley], *Dinamika pojmennoj rastitel'nosti rek CHu i Ili [Dynamics of floodplain vegetation of the Chu and Ili Rivers]* (Science, Alma-Ata, 1985, P. 85-133). [in Russian]
43. Plisak R.P. Izmenenie rastitel'nosti del'ty reki Ili pri zaregulirovanii stoka [Changes in vegetation of the Ili River delta during flow regulation]. (Science, Alma-Ata, 1981, 216 p.). [in Russian]

44. Peterson A., Levichev I.G., Peterson J., Harpke D., Schnittler M. New insights into the phylogeny and taxonomy of Chinese species of *Gagea* (Liliaceae) - speciation through hybridization, *Organisms Diversity & Evolution*, 11(5), 387-407 (2011).
45. Krasovskaya L.S., Levichev I.G. Flora CHatkal'skogo zapovednika [Flora of the Chatkal Nature Reserve] (Fan, Tashkent, 1986, 176 p.). [in Russian]
46. Ivashchenko A.A., Belyalov O.V. Kazakhstan – rodina tyul'panov [Kazakhstan is the birthplace of tulips] (Atamura, Almaty, 2019, 368 p.). [in Russian]
47. Gvozdeva L.P. Rastitel'nost' i kormovye resursy pustyni Sary-Ishik-Otrau [Vegetation and forage resources of the Sary-Ishik-Otrau desert]. (Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata, 1960, 203 p.). [in Russian]
48. Krasnaya kniga Kazakhstana. [Red Book of Kazakhstan] 2. Ch. 2. Plant (Izd.-e 2-e. ispravlennoye i dopolnennoye), [Vol. 2, Part 2. Plants] (Ed. 2nd, revised), (LTD "Art-Print XXI", Astana, 2014, 452 p.).
49. Friesen N., Smirnov S.V., Leweke M., Seregin A.P., Fritsch R.M. Taxonomy and Phylogeny of *Allium* section *Decipientia* (Amaryllidaceae): Morphological characters do not reflect the evolutionary history verified by molecular markers, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 197(2), 190-228 (2021).
50. Roldugin I.I. Air (*Acorus calamus* L.) v Balhash-Alakul'skoj vpadine [*Acorus calamus* L. in the Balkhash-Alakul Valley], *Trudy Instituta botaniki AN KazSSR* [Works of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR], 18, 31-40 (1964). [in Russian]
51. Laz'kov G.A., Sultanova B.A. Kadastr flory Kyrgyzstana. Sosudistye rasteniya [Cadastre of flora of Kyrgyzstan. Vascular plants] (National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, 2014, 126 p.). [in Russian]
52. Ivashchenko A.A., Belyalov O.V. Novye floristicheskie nahodki na yuge i yugo-vostoke Kazakhstana [New floristic findings in the south and southeast of Kazakhstan], *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana* [Botanical studies of Siberia and Kazakhstan], 21, 94-100 (2015). [in Russian]
53. Baitulin I.O., Kotukhov Yu.A. Flora sosudistyh rastenij Kazakhstanskogo Altaya [Flora of vascular plants of the Kazakhstani Altai] (Konica Minolta, Almaty, 2011, 158 p.). [in Russian]
54. Kostin V.A. Redkie i ischezayushchie vidy vysshih vodnyh rastenij vodoemov reki Ili i ozera Balhash [Rare and endangered species of higher aquatic plants of reservoirs of the Ili River and Lake Balkhash], *Botanicheskie materialy Gerbariya Instituta botaniki Akademii nauk Kazahskoj SSR, Alma-Ata* [Botanical materials from the Herbarium of the botanical Institute of the Academy of sciences of the Kazakh SSR, Alma-Ata], 13, 111-115 (1983). [in Russian]

Information about authors:

Ivashchenko A.A. – Candidate of Biological Sciences, Research consultant of A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirov str., Shchuchinsk, Kazakhstan.

Stikhareva T.N. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirov str., Shchuchinsk, Kazakhstan.

Abidkulova K.T. – Senior lecturer of the Department of biodiversity and bioresources of Al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan.

Kirillov V.Yu. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Deputy Chairman of the Management Board for Research of A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirov str., Shchuchinsk, Kazakhstan

Rakhimzhanov A.N. – Ph.D., Chairman of the Management Board of A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirov str., Shchuchinsk, Kazakhstan.

Иващенко А.А. – биология ғылымдарының кандидаты, Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының ғылыми сарапшы, Киров көш., 58, Щучинск, Қазақстан.

Стихарева Т.Н. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының бас ғылыми хатшысы, Киров көш., 58, Щучинск, Қазақстан.

Абидкулова К.Т. – биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының аға оқытушысы әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ. 71, Алматы, Қазақстан.

Кириллов В.Ю. – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының басқарма төрағасының ғылым жөніндегі орынбасары, Киров көш., 58, Щучинск, Қазақстан.

Рақымжанов А.Н. – PhD докторы, Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының басқарма төрағасы, Киров көш., 58, Щучинск, Қазақстан.

Meta-Analysis of the association of FCER1B, FCER2, and ADAM33 gene polymorphisms with asthma

Abstract. Asthma is a complex heterogeneous disease, the development of which is determined by the complex interaction of many predisposition genes and environmental factors. Many epidemiological studies have shown that single nucleotide polymorphism (SNP) in the FCER1B (rs1441586), FCER2 (28364072), and ADAM33 (rs528557) genes are associated with the risk development of asthma. However, the results are inconsistent and inconclusive. The aim of this study was to determine whether the FCER1B (rs1441586), FCER2 (28364072), and ADAM33 (rs528557) polymorphisms confer susceptibility to asthma. To derive a more precise estimation, a meta-analysis was performed. Meta-analysis was conducted with the data from case-control association studies (20 studies with 9954 controls and 8261 cases). Comprehensive Meta-Analysis software was used for statistical analysis. A random-effects model was used to calculate summary odds ratios (ORs). The meta-analysis showed no association between asthma and the FCER1B rs1441586 variant under any genetic model. A noticeable association of FCER2 (rs28364072) polymorphism with susceptibility to asthma in overall pooled subjects was observed under dominant, recessive, and allele contrast models. Moreover, statistically significant results were obtained for the ADAM33 polymorphism in the allele contrast model. This meta-analysis illustrates that the FCER2 (rs28364072) and ADAM33 (rs528557) polymorphisms may increase susceptibility to asthma.

Keywords: asthma, SNPs, FCER1B, FCER2, ADAM33, meta-analysis.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-90-102

Introduction

Asthma is a heterogeneous disease, usually characterized by chronic inflammation of the respiratory tract. This is determined by the presence of a history of respiratory symptoms, such as wheezing, shortness of breath, chest tightness, and cough, which vary over time and intensity, as well as variable restrictions of airflow when exhaling [1]. According to estimates by the World Health Organization (WHO), more than a third of billions of people have suffered from asthma worldwide and up to half a million people die every year around the world precisely because of this disease [2].

The etiopathogenesis of asthma results from intricate interactions between genetic factors and exposure to numerous environmental agents [3].

Nowadays, it is widely accepted that asthma susceptibility has a strong genetic component, as shown by multiple studies. In the last decade, several genome-wide association studies (GWAS) have identified numerous genetic variants responsible for asthma susceptibility [4]. These mainly non-coding variants play a regulatory role in gene expression and asthma heritability [5]. And such kind of genetic variations in various loci and genes are important in asthma pathogenesis. Regardless of the severity of atopic bronchial asthma, its pathogenetic basis is allergic inflammation, the peculiarity of which is a hereditary predisposition and hyper production of immunoglobulins IgE and IgG4 [6]. In the regulation of IgE secretion, various immunological pathways are of great importance. Alterations in any of the major pathways can greatly increase the risk of developing asthma. Variant polymorphisms of some genetic markers can predict susceptibility to asthma.

The high-affinity receptor IgE 1 (FCER1) gene is located on chromosome 11q13, a region that is

involved in the induction of immune responses in atopic disease, contributing to the IgE-dependent activation of mast cells and basophils. It encodes the beta chain of the high-affinity receptor for IgE (FceRI- β gene, FCER1B), which in combination with one alpha subunit binding IgE and the dimer of the gamma subunit forms the FceRI tetramer. It is believed that FCER1B functions as an enhancer of FceRI expression and signaling, which enhances the activation of mast cells and basophils and enhances IgE-mediated inflammatory reactions [7].

Taking into account the importance of FCER1B in the immunopathogenesis of bronchial asthma, multiple epidemiological studies have been conducted to identify potentially important single-nucleotide polymorphisms (SNP) in the FCER1B gene associated with the risk of developing asthma. Two functionally important SNPs in this gene were the polymorphism of the promoter C109T (rs1441586) and the 7th exon E237G (rs569108). Although several studies have shown no significant differences in the distribution of -109 C/T polymorphism between asthma patients and healthy control subjects, the data were still contradictory [8-11].

Low-affinity immunoglobulin E receptor gene (FCER2), is a protein-coding gene that is located on chromosome 19. It is one of the key molecules in the regulation of IgE production. Gene variant rs28364072 of the FCER2 is presumably related to the severity of asthma [12,13] and the duration of hospitalization [12,13, 14]. K. G. Tantisira et al. [13] established the effect of three SNPs of the FGFR2 gene on an increase in serum IgE levels and the deterioration of asthma in European Americans. The authors demonstrated the association of rs 28364072 (T2206C) polymorphism with severe asthma exacerbations in children [15, 16].

Relatively recently asthma gene A disintegrin and metalloprotease 33 (ADAM33) [17] located on chromosome 20p13 was characterized. Analysis of 135 SNPs of the ADAM33 gene showed the most significant association with asthma. These data indicate the important role of ADAM33 in the functions of the respiratory tract. Currently, the role of these genetic variations associated with susceptibility to asthma has been confirmed in Saudi Arabia and China populations [18]. However, the data on polymorphism rs528557 were contradictory.

Therefore, we aimed to perform a meta-analysis based on the studies of the association between FCER1B, FCER2, and ADAM33 gene variants to asthma susceptibility.

Materials and methods

Strategy for literature search. In this meta-analysis collected all the case-control studies using Scopus, PubMed, Web of Science, Medline, and other databases until March of 2022. The databases were searched for the keywords: FCER1B, FCER2, ADAM33, polymorphism, single nucleotide variant, C109T, E237G, rs1441586, rs28364072, rs528557, SNP and asthma.

Inclusion and exclusion criteria. For inclusion in the meta-analysis, the studies must have the following criteria: (1) the study association between FCER1B, FCER2, ADAM33 polymorphisms, and asthma; (2) should have a case-control design; (3) the study must offer the sample size, distribution of alleles and genotypes.

Studies identified from the searches were screened and excluded from further analysis if one of the following reasons was satisfied: a review article, lack of information, animal research, not case-control or nested case-control study design, or unreported genotype frequencies.

For each publication included in the meta-analysis, the following information was obtained: author's first name, year of publication, SNP, quantitative and qualitative characteristics of asthmatic patients and control group, and genotyping data.

Statistical analysis. In the control population, the Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE) was

evaluated using the online software "Calculation of the Chi-square criterion for deviation from the Hardy-Weinberg equilibrium" (<https://gene-calc.pl/hardy-weinberg-page>). The statistical analysis was carried out using Comprehensive Meta-Analysis Version 3.0 (Biosta, Englewood, NJ, USA). We used ORs and 95% CIs to summarize the tightness of the connection between FCER1B, FCER2, and ADAM33 polymorphisms and asthma. The heterogeneity was estimated by using the I² index. If I² > 50%, it indicates that there was high heterogeneity, and the random-effects model was used to calculate the association of OR. In other respects, the fixed-effects model was applied (19). Publication bias was measured via "Begg's funnel plot" and "Egger's linear regression" methods [20]. A two-tailed p-value < 0.05 implied a statistically significant publication bias.

Results

Studies included in the meta-analysis

A total of 213 potential articles were identified from the database search. After 171 duplicate records were removed, a total of 42 potential articles were reviewed. Amongst these articles, 18 were excluded after the titles and abstract review. Four others were excluded for lacking controls. Finally, 20 studies with a total of 9954 controls and 8261 cases that met the inclusion criteria were included in this meta-analysis (Fig. 1). The characteristics and genotype frequencies and HWE examination results of each study included in this meta-analysis are listed in Table 1, Table 2 and Table 3.

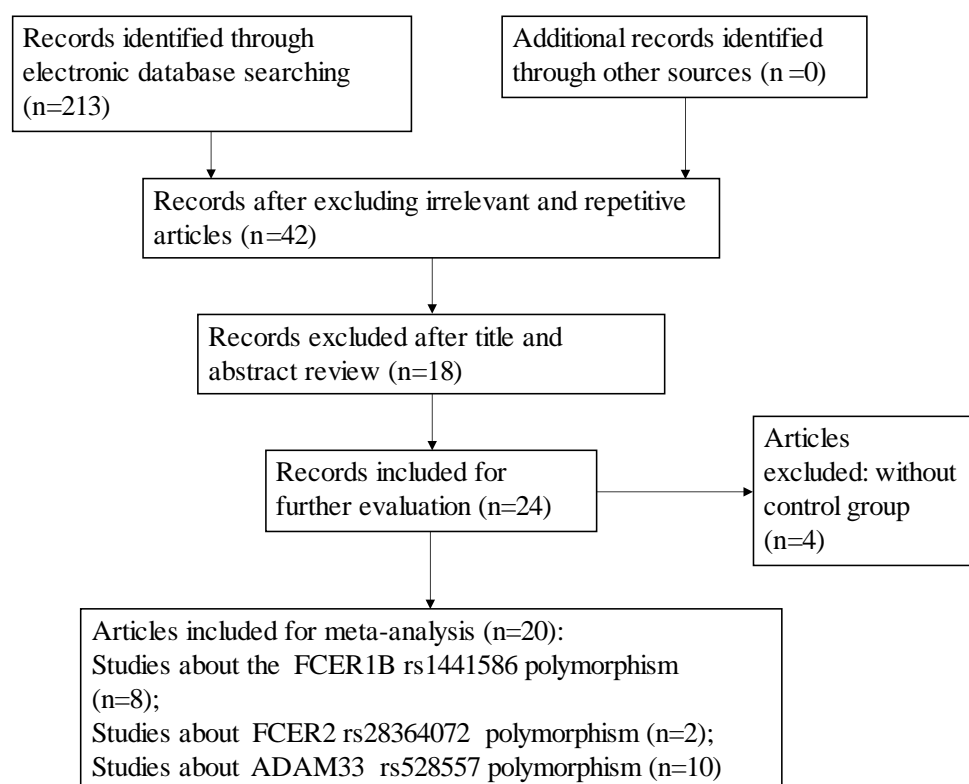


Figure 1. Flow diagram of the study selection process

Table 1
Characteristics of the studies of FCER1B (rs1441586) polymorphism included in the meta-analysis

First author, year	Case			Control			p (HWE) Control
	TT	CT	CC	TT	CT	CC	
Li Hua, 2021 ^[21]	108	125	31	317	329	74	0,66
Li Hua, 2015 ^[22]	416	436	148	406	470	124	0,64
V. Tikhonova, 2010 ^[23]	53	69	18	48	70	18	0,61
E.S. Kim, 2009 ^[24]	159	167	20	140	135	28	0,68
H. Li, 2009 ^[25]	110	24	58	78	24	90	0,46
D.P. Potaczek, 2007 ^[26]	57	72	25	57	70	27	0,59
S. H. Kim, 2006 ^[27]	67	65	8	113	128	23	0,67
N. Hizawa, 2000 ^[28]	85	123	18	108	99	19	0,69

Table 2
Characteristics of the studies of FCER2 (rs28364072) polymorphism included in the meta-analysis

First author, year	Case			Control			p (HWE) Control
	TT	TC	CC	TT	TC	CC	
Fayzullina, 2019 ^[29]	51	34	7	41	47	11	0,65
Ly, 2016 ^[30]	58	39	10	5	11	7	0,45

Table 3
Characteristics of the studies of ADAM33 (rs528557) polymorphism included in the meta-analysis

First author, year	Case			Control			p (HWE) Control
	GG	GC	CC	GG	GC	CC	
Thongngarm, 2022 ^[31]	182	60	8	148	82	20	0,75
Shen, 2017 ^[32]	48	78	24	39	41	20	0,59
Miyake, 2012 ^[33]	10	28	50	94	506	681	0,27
Tripathi, 2011 ^[34]	20	67	88	159	79	15	0,78
Jie, 2011 ^[35]	92	52	6	43	28	3	0,77
Awasthi, 2010 ^[36]	18	85	108	72	51	14	0,71
Blakey, 2009 ^[37]	46	319	472	458	2682	3726	0,26
Thongngarm, 2008 ^[38]	114	77	9	72	21	7	0,82
Hirota, 2006 ^[39]	299	159	24	354	251	39	0,74
Howard, 2003 ^[40]	85	55	10	68	42	13	0,72

Data analysis

Meta-analysis of the relationship between the FCER1B (rs1441586) gene polymorphism and risk of asthma

Meta-analysis has shown, that FCER1B (rs1441586) gene polymorphism was not associated with asthma (TT+CT versus CC: OR = 1.175, 95 % CI 0.815-2.039, p = 0.269; CT+CC versus TT: OR = 0.957, 95 % CI 0.815-1.518, p = 0.648; CC versus TT: OR = 1.171, 95 % CI 0.813-2.188, p = 0.306). All data of meta-analysis concerning associations between the FCER1B (rs1441586) polymorphism and risk of asthma is shown in Table 4.

Table 4

Meta-analysis of the association between FCER1B (rs1441586) polymorphism and risk of asthma

Polymorphism	OR	95 % CI	P-value	I ²	Egger P
Dominant model TT+CT vs. CC	1.175	0.815-2.039	0.269	59.483	0.11
Recessive model CT+CC vs. TT	0.957	0.815-1.518	0.648	59.251	0.35
Additive model CC versus TT	1.171	0.813-2.188	0.306	59.017	0.2

Meta-analysis of the relationship between the FCER2 (rs28364072) gene polymorphism and risk of asthma

Meta-analysis has shown, that FCER2 (rs28364072) gene polymorphism was associated with asthma in dominant, recessive and allele contrast model (TT+TC versus CC: OR = 2.408, 95 % CI 1.518-4.244, p = 0.020; TC+CC vs. TT: OR = 0.411, 95 % CI 0.235-0.568, p = 0.037; T allele versus C allele: OR = 2.139, 95 % CI 1.482-3.128, p = 0.042; C allele versus T allele: OR=0.468, 95 % CI 0.320-0.675, p = 0.042) (Fig. 2-4). Moreover, there is a trend of rs28364072 association with asthma under additive model (TT versus CC: OR=3.737, 95 % CI 1.955-8.120, p=0.063). All data of meta-analysis concerning associations between the FCER2 (rs28364072) polymorphism and risk of asthma is shown in Table 5.

Table 5

Meta-analysis of the association between FCER2 (rs28364072) polymorphism and risk of asthma

Polymorphism	OR	95 % CI	P-value	I ²	Egger P
Dominant model TT+TC vs. CC	2.408	1.518-4.244	0.020	45.836	-
Recessive model TC+CC vs. TT	0.411	0.235-0.568	0.037	51.569	-
Additive model TT versus CC	3.737	1.955-8.120	0.063	63.617	-
Allele contrast model T allele versus C allele	2.139	1.482-3.128	0.042	61.955	-
Allele contrast model C allele versus T allele	0.468	0.320-0.675	0.042	61.955	-

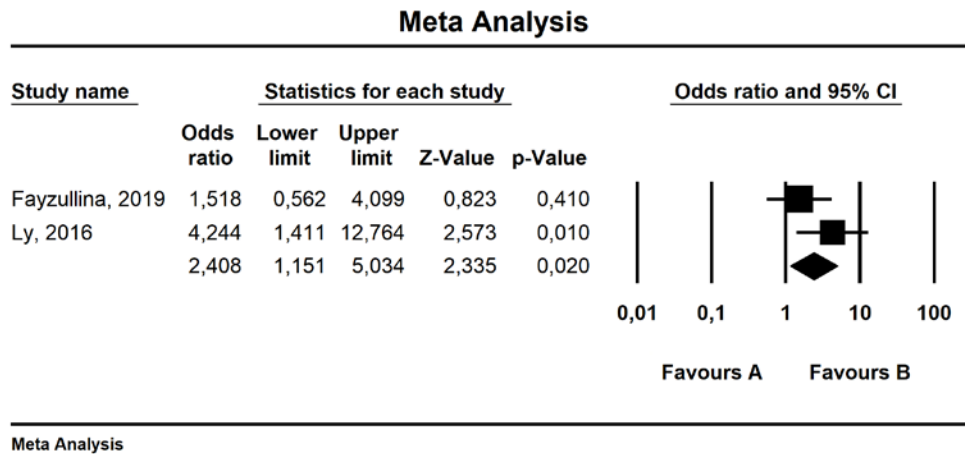


Figure 2. Forest plot of the association between FCER2 rs28364072 and risk of asthma: TT+TC vs. CC

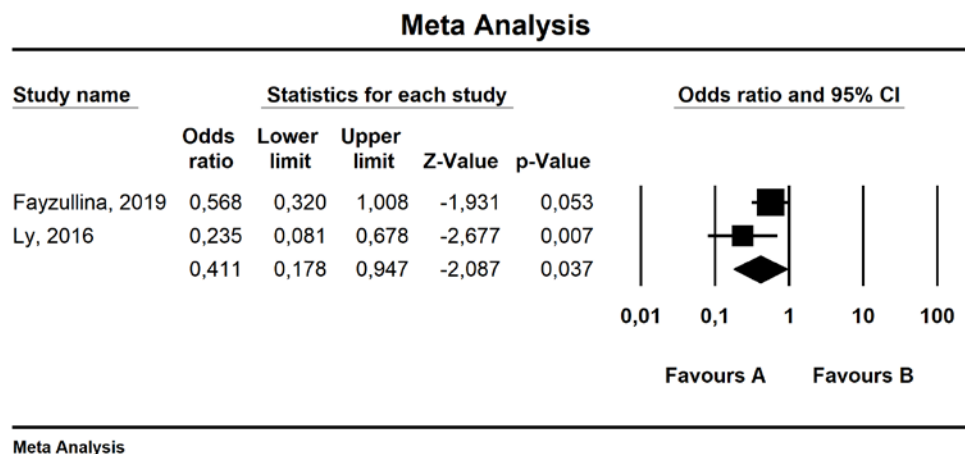


Figure 3. Forest plot of the association between FCER2 rs28364072 and risk of asthma: TC+CC vs. TT

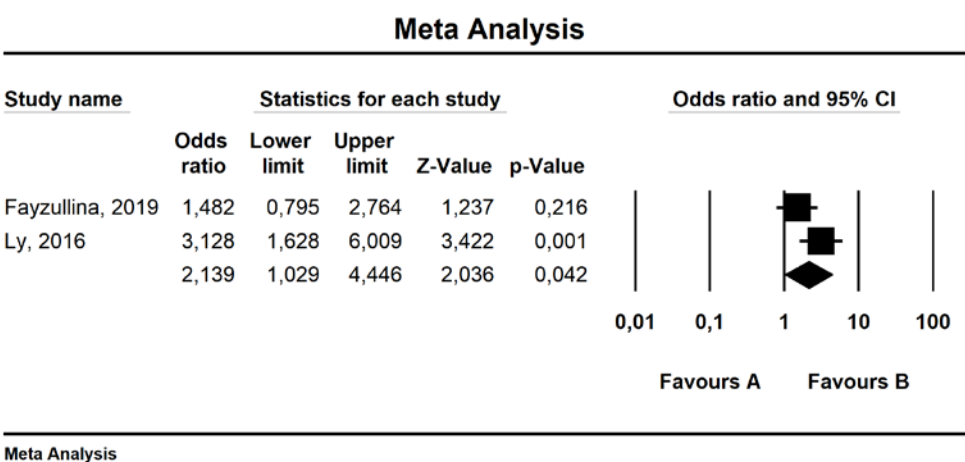


Figure 4. Forest plot of the association between FCER2 rs28364072 and risk of asthma: T allele vs. C allele

Meta-analysis of the relationship between the ADAM33 (rs528557) gene polymorphism and risk of asthma

According to the meta-analysis, there is no association between ADAM33 (rs528557) gene polymorphism with asthma in dominant, recessive and additive model (GG+GC versus CC: OR = 0.730, 95 % CI 0.062-2.630, p = 0.334; GC+CC versus GG: OR = 1.577, 95 % CI 0.542-13.109, p = 0.142; GG versus CC: OR = 0.604, 95 % CI 0.021-3.074, p = 0.306). However, the significant association was found under allele contrast model (G allele versus C allele: OR = 0.293, 95 % CI 0.121-0.360, p = 0.009 and C allele versus G allele: OR = 3.413, 95 % CI 0.909-8.272, p = 0.009) (p < 0.05). All data of meta-analysis concerning associations between the ADAM33 (rs528557) polymorphism and risk of asthma is shown in Table 6.

Table 6
Meta-analysis of the association between ADAM33 (rs528557) polymorphism and risk of asthma

Polymorphism	OR	95 % CI	P-value	I ²	Egger P
Dominant model GG+GC vs. CC	0.730	0.062-2.630	0.334	93.112	0.32
Recessive model GC+CC vs. GG	1.577	0.542-13.109	0.142	94.931	0.08
Additive model GG versus CC	0.604	0.021-3.074	0.306	95.026	0.40
Allele contrast model G allele versus C allele	0.293	0.121-0.360	0.009	95.431	0.06
Allele contrast model C allele versus G allele	3.413	0.909-8.272	0.009	95.431	0.06

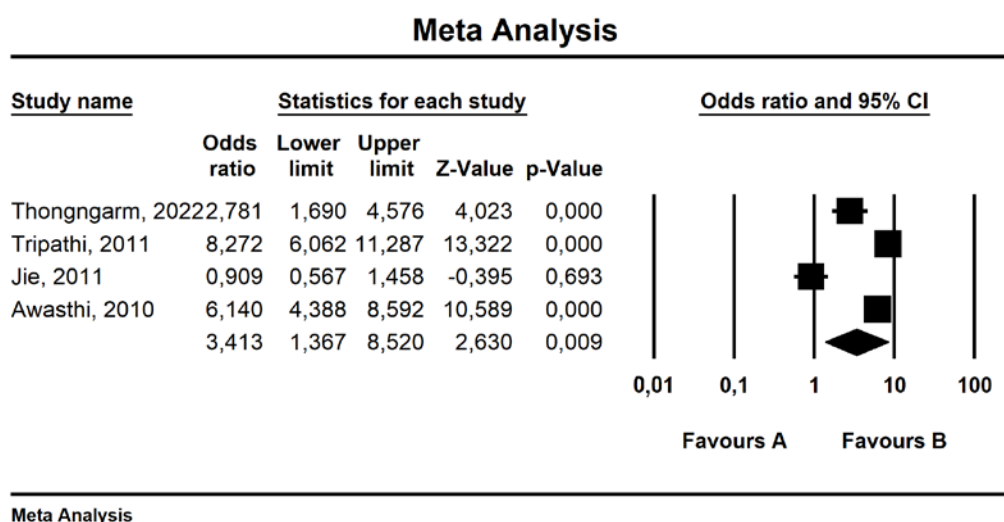


Figure 4. Forest plot of the association between ADAM33 rs528557 and risk of asthma: C allele vs. G allele

Discussion

Asthma is a common respiratory disease characterized by a significant decrease in the quality of life and a high rate of mortality from complications. An important feature of asthma is heterogeneity. It manifests itself in various phenotypes and genotypes arising from the activation of the different gene networks and the development of molecular patterns. As previously reported, genetic factors largely

determine the course of the disease. The contribution of heredity in asthma is about 75% [4]. Genetic variations or single nucleotide polymorphisms are widespread genetic factors that are found in the studies of many researchers in recent decades. Despite the fact that many studies have shown reliably statistically significant results, the contribution of genetic variations to the risk of asthma is still the subject of discussion. However, meta-analysis, which collects quantitative data from individual studies and combines their results, has a number of advantages in improving accuracy, providing reliable estimates, and solving problems that are not effective enough in studies of individual associations. Thus, in this study, we focused on the contribution of several genetic polymorphisms predisposing to the development of asthma.

The development of IgE-mediated inflammatory response is the central component of allergy asthma. IgE is secreted from B cells into blood circulation, where it binds to FCER1 on the surfaces of effector cells of allergic reactions, such as mast cells and basophils [41]. FCER1B combines with an IgE-binding alpha subunit and a gamma-subunit dimer to compose an FCER1 tetramer complex, which is essential for IgE-mediated allergic responses. FCER1B functions as an expression and signaling enhancer that enhances mast cell and basophil activation and activates IgE-mediated inflammatory responses [42].

One of the first described polymorphisms of the FCER1B gene in position -109 was the replacement of cytosine with thymine (rs1441586) [28]. Later, several studies showed that this polymorphism is not associated with the risk of developing asthma [25-27]. However, Kim et al., reported that patients carrying the homozygous TT genotype showed a high level of IgE compared to the patients with the homozygous CC genotype and the heterozygous CT genotype [23]. According to our results, there is no significant association between rs1441586 FCER1b gene polymorphism and the risk of asthma for all models.

The next candidate gene in our study was the FGFR2. The previous case-control study didn't find differences in the frequency distribution of alleles and genotypes of SNP rs28364072 in patients with asthma and healthy controls. But Tastisira et al., showed that rs28364072 of FCER2 gene was associated with high IgE levels in the blood serum of patients with asthma [40]. But in our case, it was found that the homozygous TT genotype increased the risk of developing asthma, whereas the homozygous CC genotype, on the contrary, decreased the risk of asthma. Since the number of studies is not enough to make an appropriate conclusion, in our opinion, further research is necessary to understand the role of this SNP in asthma.

One of the common SNPs of the ADAM33 gene, which is considered a potential biomarker of asthma, is the rs528557 polymorphism. As previously assumed rs528557 SNP can affect the activity of the ADAM33 gene and cause the occurrence of bronchial hyperreactivity and airway obstruction, which in turn can lead to the development of asthma [43].

However, our results indicated that rs528557 plays a potential role in the allelic contrast model. In other models, the role of this polymorphism is not statistically significant due to high heterogeneity.

Nonetheless, this meta-analysis had a number of limitations. First of all, our results may not provide sufficient statistical power to assess the correlation between FCER2 (rs28364072), and ADAM33 (rs528557) polymorphisms with asthma due to the small number of studies included. Secondly, single nucleotide polymorphisms vary between populations and have a different effects on bronchial hyperreactivity. Further case-control studies of SNPs in FCER2 and ADAM33 genes are needed in different populations.

Conclusion

In summary, our meta-analysis suggests that the polymorphisms rs28364072 of the FCER2 and rs528557 of the ADAM33 gene may contribute to the risk development of asthma and can be the potential biomarkers for the early diagnosis of asthma. However, gene polymorphism rs1441586 of FCER1b is not associated with asthma. Taking into consideration all mentioned limitations, further detailed research is required to confirm our data.

References

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. [Electronic resource] – Available at: www.ginasthma.org/reports (Accessed: Sept 2021).
2. Asthma. [Electronic resource] – Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/asthma> (Accessed: Sept 2021).
3. Eva Morales, David Duffy. Genetics and Gene-Environment Interactions in Childhood and Adult Onset Asthma. *Front. Pediatr.* – 2019. – Vol. 7. – P. 499. DOI: 10.3389/fped.2019.00499.
4. Kabesch M., Tost J. Recent findings in the genetics and epigenetics of asthma and allergy. *Semin. Immunopathol.* – 2020. – Vol. 42. – P. 43-60.
5. Gautam Y., Afanador Y., Ghandikota S., Mersha T.B. Comprehensive functional annotation of susceptibility variants associated with asthma. *Hum. Genet.* – 2020. – Vol. 139. – P. 1037-1053.
6. Polyxeni Ntontsi, Andreas Photiades, Eleftherios Zervas, Georgina Xanthou and Konstantinos Samitas. Genetics and Epigenetics in Asthma. *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – Vol. 22(5). – P. 2412. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22052412>.
7. Kraft S., Rana S., Jouvin M.H., Kinet J.P. The role of the Fc epsilon RI beta-chain in allergic diseases. *Int Arch Allergy Immunol.* – 2004. – Vol. 135. – P. 62-72.
8. Ishizawa M., Shibasaki M., Yokouchi Y., Noguchi E., Arinami T., Yamakawa-Kobayashi K. No association between atopic asthma and a coding variant of Fc epsilon R1 beta in a Japanese population. *J Hum Genet.* – 1999. – Vol. 44. – P. 308-11.
9. Shirakawa T., Mao X.Q., Sasaki S., Enomoto T., Kawai M., Morimoto K. Association between atopic asthma and a coding variant of Fc epsilon RI beta in a Japanese population. *Hum Mol Genet.* – 1996. – Vol. 5. – P. 1129-30.
10. Green S.L., Gaillard M.C., Song E., Dewar J.B., Halkas A. Polymorphisms of the beta chain of the high-affinity immunoglobulin E receptor (Fc epsilon RI-beta) in South African black and white asthmatic and nonasthmatic individuals. *Am J Respir Crit Care Med.* – 1998. – Vol. 158. – P. 1487-92.
11. Rohrbach M., Kraemer R., Liechti-Gallati S. Screening of the Fc epsilon RI-beta-gene in a Swiss population of asthmatic children: no association with E237G and identification of new sequence variations. *Dis Markers.* – 1998. – Vol. 14. – P. 177-86.
12. Koster S.E., Maitland-van der Zee A.H., Tavendale R., Mukhopadhyay S., Vijverberg S.J., Raaijmakers J.A., Palmer C.N. FCER2 T2206C variant associated with chronic symptoms and exacerbations in steroid-treated asthmatic children. *Allergy.* – 2011. – Vol. 66. – P. 1546-1552.
13. Tantisira K. FCER2: A pharmacogenetic basis for severe exacerbations in children with asthma. *J. Allergy Clin Immunol.* – 2007. – Vol. 120. – P. 1285-91.
14. Tse S.M., Tantisira K., Weiss S.T. The Pharmacogenetics and Pharmacogenomics of Asthma Therapy. *Pharmacogenomics J.* – 2011. – Vol. 11. – P. 383-392.
15. Zastrozhina A.K. Farmakogeneticheskie aspekty effektivnosti i bezopasnosti ingalyacionnyh glyukokortikosteroidov v lechenii bronhial'noj astmy // *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya.* – 2018. – № 27(5). – P. 64-68.

16. Tantisira K.G. FCER2: a pharma cogenetic basis for severe exa cerbations in children with asthma // *J. Allergy Clin. Immunol.* – 2007. – Vol. 120, № 6. – P. 1285-1291.
17. Van Eerdewegh P., Little R., Dupuis J. et al. Association of the ADAM33 gene with asthma and bronchial hyperresponsiveness // *Nature.* – 2012. – Vol. 418. – P. 426-430.
18. Bazzi M., Al-Anazi M., Al-Tassan N.A. Genetic variations of ADAM33 in normal versus asthmatic Saudi patients. [Electronic resource] – Available at: [http:// biotechcentersa.org/asthma-genetics/](http://biotechcentersa.org/asthma-genetics/) (Accessed:).
19. Higgins J.P., Thompson. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statist. Med.* – 2002. – Vol. 21. – P. 1539-1558. DOI: 10.1002/sim.1186.
20. Egger M., Smith G., Schneider M., Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.* – 1997. – Vol. 315(7109). – P. 629-634. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.629.
21. Li Hua, Quanhua Liu, Jing Li, Xianbo Zuo, Qian Chen, Jingyang Li, Yuwei Wang, Haipei Liu, Zhaobo Shen, Yi Li, Zenan Ma, Shengdong Dong, Ruoxu Ji, Dingzhu Fang, Yi Chen, Wenwei Zhong, Jun Zhang, Jianhua Zhang and Yixiao Bao. Gene-gene and gene-environment interactions on cord blood total IgE in Chinese Han children. *Allergy Asthma Clin Immunol.* – 2021. – Vol. 17. – P. 69.
22. Li Hua, Xian-Bo Zuo, Yi-Xiao Bao, Quan-Hua Liu, Jing-Yang Li, Jie Lv, Ding-Zhu Fang, Qian Lin, Jun Bao, and Ruo-Xu Ji. Four-Locus Gene Interaction Between IL13, IL4, FCER1B, and ADRB2 for Asthma in Chinese Han Children. *Pediatric Pulmonology.* – 2016. – Vol. 51. – P. 364-371.
23. Tikhonova V., Voitovich A., Korostovsev D., Larionova V. The-109C>T Polymorphism of the FCER1B gene in children with asthma. Article in *Pediatric Research.* – 2010. – Vol. 68. – P. 413-413. DOI: 10.1203/00006450-201011001-00821.
24. Eun Soo Kim, Seung-Hyun Kim, Kyung Won Kim, Hae-Sim Park, Eun Soon Shin, Jong Eun Lee, Myung Hyun Sohn, Kyu-Earn Kim. Involvement of FcεR1β gene polymorphisms in susceptibility to atopy in Korean children with asthma. *Eur J Pediatr.* – 2009. – Vol. 168(12). – P. 1483-90. DOI: 10.1007/s00431-009-0960-x.
25. Li H., Xiaoyan D., Quanhua L., Jie L., Yixiao B. Single-Nucleotide Polymorphisms in Genes Predisposing to Asthma in Children of Chinese Han Nationality. *J Investig Allergol Clin Immunol.* – 2009. – Vol. 19(5). – P. 391-395.
26. Potaczek D.P., Sanak M., Szczeklik A. Additive association between FCER1A and FCER1B genetic polymorphism and total serum Ige levels. *Allergy.* – 2007. – Vol. 62. – P. 1095-1099.
27. Kim S.-H., Bae J.-S., Holloway J.W., Leez J.-T., Suh C.-H., Nahm D.-H., Park H.-S. A polymorphism of MS4A2 (-109T>C) encoding the b-chain of the high-affinity immunoglobulin E receptor (FcεR1b) is associated with a susceptibility to aspirin-intolerant asthma. *Clinical and Experimental Allergy.* – 2006. – Vol. 36. – P. 877-883.
28. Nobuyuki Hizawa, Etsuro Yamaguchi, Eisei Jinuchi, and Yoshikazu Kawakami. A Common FCER1B Gene Promoter Polymorphism Influences Total Serum IgE Levels in a Japanese Population. *Am J Respir Crit Care Med.* – 2000. – Vol. 161. – P. 906-909.
29. Fayzullina R.M., Viktorov V.V., Shangareeva Z.A., Gafurova R.R., Danilko K.V., Mukhametzyanov A.M. Search for association of clinical and anamnestic data in children with bronchial asthma with rs28364072 (T2206C) polymorphism of FCER2 gene. *Medical Bulletin of Bashkortostan.* – 2019. – Volume 14, № 5(83).
30. Duong Thi Ly H., Pham Thi Hong N., Vu Thi T., Nguyen Thi Bich H., Le Thi Minh H., Duong-Quy S. The frequency of FCER2 genotype distributions related to corticosteroid response in asthma patients treated at the National Hospital of Paediatrics. *J Fran Viet Pneu.* – 2016. – Vol. 20(7). – P. 1-78.
31. Torpong Thongngarm, Aree Jameekornrak, Nachol Chaiyaratana, Wanna Thongnoppakhun, Atik Sangasapaviliya, Orathai Jirapongsananuruk, Chanin Limwongse. Effect of gene polymorphisms in ADAM33, TGFβ1, VEGFA, and PLAUR on asthma in Thai population. *Asian Pac J Allergy Immunol.* – 2022. DOI: 10.12932/AP-010419-0532.

32. Bo Shen, Rong Lin, Cai-Chun Wang, Jing rei, Yan Sun, Young-Le Yang and Ying-Ying Lin. ADAM33 gene polymorphisms identified to be associated with asthma in a Chinese Li population. Biomedical Reports. – 2017. – Vol. 6. – P. 323-328.
33. Miyake Y., Tanaka K., Arakawa M. ADAM33 polymorphisms, smoking and asthma in Japanese women: the Kyushu Okinawa Maternal and Child Health Study. Int J Tuberc Lung Dis. – 2012. – Vol. 16(7). – P. 974-979.
34. Priya Tripathi, Shally Awasthi, Rajendra Prasad, Nuzhat Husain and Subramaniam Ganesh. Association of ADAM33 gene polymorphisms with adult-onset asthma and its severity in an Indian adult population. J. Genet. – 2011. – Vol. 90. – P. 265-273.
35. Zhijun Jie, Zhilin Hu, Chunxue Bai and Meiling Jin. ADAM33 Gene Polymorphisms Associate with Asthma Susceptibility and Severity in East China Han Population. Journal of Asthma. – 2011. – Vol. 48. – P. 979-985.
36. Shally Awasthi, Priya Tripathi, Subramaniam Ganesh, and Nuzhat Husain. Association of ADAM33 gene polymorphisms with asthma in Indian children. Journal of Human Genetics. – 2011. – Vol. 56. – P. 188-195.
37. Blakey J.D., Sayers I., Ring S.M., Strachan D.P., Hall I.P. Positionally cloned asthma susceptibility gene polymorphisms and disease risk in the British 1958 Birth Cohort. Thorax. – 2009. – Vol. 64. – P. 381-387.
38. Torpong Thongngarm, Aree Jameekornrak, Chanin Limwongse, Atik Sangasapaviliya, Orathai Jirapongsananuruk, Anunchai Assawamakin, Nachol Chaiyaratana, Voravich Luangwedchakarn and Wanna Thongnoppakhun. Association between ADAM33 Polymorphisms and Asthma in a Thai Population. Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology. – 2008. – Vol. 26. – P. 205-211.
39. Hirota T., Hasegawaz K., Obara K., Matsuda A., Akahoshi M., Nakashima K., Shirakawa T., Doi S., Fujitaz K., Suzukik Y., Nakamura Y., Tamari M. Association between ADAM33 polymorphisms and adult asthma in the Japanese population. Clinical and Experimental Allergy. – 2006. – Vol. 36. – P. 884-891.
40. Timothy D. Howard, Dirkje S. Postma, Hajo Jongepier, Wendy C. Moore, Gerard H. Koppelman, Siqun L. Zheng, Jianfeng Xu, Eugene R. Bleecker, and Deborah A. Meyers. Association of a disintegrin and metalloprotease 33 (ADAM33) gene with asthma in ethnically diverse populations. J Allergy Clin Immunol. – 2003. – Volume 112, Number 4.
41. Levine S.J., Wenzel S.E. Narrative review: the role of Th2 immune pathway modulation in the treatment of severe asthma and its phenotypes. Ann Intern Med. – 2010. – Vol. 152. – P. 232-237.
42. Kraft S., Rana S., Jouvin M.H., Kinet J.P. The role of the FcepsilonRI beta-chain in allergic diseases. Int Arch Allergy Immunol. – 2004. – Vol. 135. – P. 62-72.
43. Lambrecht B., Hammad H. The airway epithelium in asthma. Nat Med. – 2012. – Vol. 18(5). – P. 684-92.

А.Ж. Амангелді, О.В. Булгакова

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Бронх демікпесімен FCER1B, FCER2 және ADAM33 гендері полиморфизмі
ассоциациясына мета-анализ**

Аңдатпа. Бронх демікпесі - күрделі гетерогенді ауру, оның дамуы көптеген бейімділік гендері мен қоршаған орта факторларының күрделі өзара әрекеттесуімен анықталады. Көптеген эпидемиологиялық зерттеулер FCER1B (rs1441586), FCER2 (28364072) және ADAM33 (rs528557) гендеріндегі бір нуклеотидті полиморфизмдер (SNP) демікпе қаупімен байланысты екенін көрсетті. Алайда, нәтижелер қайшылықты және сенімсіз болды. Бұл зерттеудің мақсаты FCER1B

(rs1441586), FCER2 (28364072) және ADAM33 (rs528557) полиморфизмдерінің бронх демікпесіне бейімділігін анықтау болды. Дәлірек бағалау үшін мета-анализ жүргізілді. Мета-анализ жағдай-бақылау қауымдастығының зерттеу деректерін қолдана отырып жүргізілді (9954 бақылау және 8261 жағдайды қамтитын 20 зерттеу). Статистикалық талдау кешенді Comprehensive Meta-Analysis бағдарламалық жасақтамасын қолдану арқылы жүргізілді. Кездейсоқ эффект моделі жалпы ықтималдық коэффициенттерді (ORs) есептеу үшін қолданылды. Мета-анализ FCER1B rs1441586 нұсқасы мен бронх демікпесі арасында ешқандай генетикалық модельде байланыс көрсеткен жоқ. FCER2 (rs28364072) гендік нұсқасы үшін барлық субъектілердегі өкпе демікпесімен бейімділікпен маңызды байланысы үш түрлі модельде (аллельді модель, гомозиготалық модель (аддитивті) және доминантты) байқалды. Сонымен қатар, ADAM33 полиморфизмі үшін аллельдік контраст моделінде статистикалық маңызды нәтижелер алынды. Бұл мета-анализ көрсеткендей, FCER2 (rs28364072) және ADAM33 (rs528557) полиморфизмдері бронх демікпесіне сезімталдықты арттыруы мүмкін.

Түйін сөздер: бронх демікпесі, SNPs, FCER1B, FCER2, ADAM33, мета-анализ.

А.Ж. Амангелды, О.В. Булгакова

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Мета-анализ ассоциации полиморфизмов генов FCER1B, FCER2 и ADAM33 с бронхиальной астмой

Аннотация. Бронхиальная астма - сложное гетерогенное заболевание, развитие которого определяется сложным взаимодействием многих генов предрасположенности и факторов окружающей среды. Многие эпидемиологические исследования показали, что однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) в генах FCER1B (rs1441586), FCER2 (28364072) и ADAM33 (rs528557) связаны с риском развития астмы. Однако результаты предыдущих исследований противоречивы и неубедительны. Целью этого исследования было определить, обуславливают ли полиморфизмы FCER1B (rs1441586), FCER2 (28364072) и ADAM33 (rs528557) предрасположенность к астме. Для получения более точной оценки был проведен мета-анализ с использованием данных исследований ассоциации случай-контроль (20 исследований с 9954 контрольными и 8261 случаями). Для статистического анализа использовалось программное обеспечение Comprehensive Meta-Analysis. Для расчета суммарных коэффициентов шансов (ORs) использовалась модель случайных эффектов. Мета-анализ не показал статистически значимой связи между астмой и вариантом FCER1B rs1441586 во всех трех генетических моделях. Заметная связь полиморфизма FCER2 (rs28364072) с предрасположенностью к астме у всех объединенных субъектов наблюдалась в моделях доминантного, рецессивного и аллельного контраста. Более того, были получены статистически значимые результаты для полиморфизма ADAM33 в модели аллельного контраста. Данный мета-анализ показывает, что полиморфизмы FCER2 (rs28364072) и ADAM33 (rs528557) могут повышать восприимчивость к астме.

Ключевые слова: астма, SNPs, FCER1B, FCER2, ADAM33, мета-анализ.

Сведения об авторах:

Амангелді А.Ж. – екінші курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпасов көш. 13, Астана, Қазақстан.

Булгакова О.В. – PhD, профессор м.а. жалпы биология және геномика кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұңайтпасов көш. 13, Астана, Қазақстан.

Amangeldi A.Zh. – The 2nd year master student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Bulgakova O.V. – Ph.D., Acting Professor of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Парадокс многофункциональных гомоолигомеров: способы их локализации и механизмы регуляции функциональной активности

Аннотация. Многофункциональные гомоолигомеры, также известные в настоящее время как «Moonlighting proteins», характеризуются способностью выполнять более одной биохимической или биофизической функции в пределах одной полипептидной цепи. При этом множественность функций не обусловлена слиянием генов или множественными протеолитическими фрагментами. На сегодня выявлено несколько сотен белков такого класса, включающего белки с большим разнообразием функций. Некоторые участвуют в каскаде биохимических реакций, используя активный центр для катализа, а другую часть поверхности белка для взаимодействия с другими белками. Многие из них участвуют в развитии патологических состояний, поэтому данные о структурно-функциональной организации и механизмах изменения локализации таких белков могут быть крайне востребованными в области профилактики и лечения различных патологий.

Ключевые слова: гомоолигомеры, функциональная активность, кристаллины, «Moonlighting proteins».

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-103-110

Введение

Среди первых выявленных белков, имеющих гомоолигомерное строение и способных выполнять две совершенно различные функции в одном и том же организме, были таксон-специфические кристаллины. Они формируют хрусталик глаза и могут выполнять ферментативную функцию. Например, ϵ -кристаллин, обнаруженный у птиц и рептилий [1,2,3], может выполнять роль лактатдегидрогеназы, катализирующей превращение пирувата в лактата (Рис. 1). У других видов были выявлены кристаллины, способные участвовать в других каталитических реакциях, например, хиноноксидоредуктаза является ζ -кристаллином верблюдов, лам, морских свинок и лягушек [4,5,6], а альдегиддегидрогеназа - это ζ -кристаллин землероек [7]. Другие водорастворимые ферменты эволюционировали в направлении приобретения возможности участвовать в регуляции транскрипции или трансляции, способности взаимодействовать с ДНК или РНК, а в некоторых случаях участия в формировании обратной связи на изменение содержания ферментов. Например, аконитаза, катализирующая изомеризацию цитрата в изоцитрат в цикле лимонной кислоты, при снижении концентрации внутриклеточного железа теряет серо-железный кластер активного центра фермента, вследствие чего изменяется его конформация. Белок в новом конформационном состоянии приобретает способность взаимодействовать с РНК, что дает возможность регулировать экспрессию генов, кодирующих белки, участвующие в метаболизме железа [8,9,10].

На данный момент многофункциональные гомоолигомеры встречаются по всему эволюционному дереву и на всех уровнях организации от вирусов, бактерий и архей до грибов, рыб и млекопитающих. Среди них встречаются ферменты, цитокины, факторы транскрипции, ДНК-связывающие белки, белки цитоскелета, рецепторы, шапероны, компоненты внеклеточного матрикса, трансмембранных каналов, рибосомальные белки и др. Это свидетельствует о значительных изменениях этих белков в ходе эволюции и пока единственным фактором, который

можно охарактеризовать как определяющий функциональную активность для многофункциональных олигомеров, можно назвать их клеточную локализацию.

Локализация многофункциональных гомоолигомеров и механизмы регуляции их активности

Одной из самых больших подгрупп «moonlighting proteins», идентифицированных на сегодняшний день, являются внутриклеточные шапероны и ферменты. Как правило, это белки «домашнего хозяйства» или «housekeeping proteins», которые участвуют в гликолизе, цикле лимонной кислоты, пентозофосфатном пути и метаболизме белков и ДНК. Первым был идентифицирован глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа (GAPDH) на поверхности патогенных стрептококков [11]. На сегодня выявлены и другие типы ферментов, локализованных как внутри клетки, так и на ее поверхности, включая другие типы GAPDHs ферментов [12,13,14], фосфоглицераткиназу [15] и енолазу [16, 17]. Помимо этого, имеются аналогичные данные о шаперонах HSP60/GroEL, HSP70/DnaK [18,19,20], факторе элонгации биосинтеза белка Ef-Tu [21] и гистоне H1 [22] локализованных как внутри, так и вне клетки, а некоторые из этих белков функционируют как рецепторы клеточной поверхности у людей и других млекопитающих. Белок GAPDH катализирует превращение D-глицеральдегид-3-фосфата в 3-фосфо-D-глицероилфосфат при гликолизе внутри клетки в большинстве типов клеток. Однако у млекопитающих также служит рецептором трансферрина на клеточной поверхности, способствуя усвоению железа [23], HSP60 является шапероном, способствующим импорту митохондриальных белков в клетку, а также выполняет функцию рецептора клеточной поверхности для липопротеинов благодаря его сродству к аполипопротеину apoA-II [24]. У людей изоформа пируваткиназы-3 (PK3), глутатион-S-трансфераза Mu-3, триозофосфат-изомераза и фруктоза-бисфосфат-альдолаза А локализованы на мембране головки сперматозоида и участвуют во взаимодействиях с белками плазматической мембраны яйцеклетки [25].

Аналогичный феномен изменения типа функциональной активности белков, в зависимости от локализации внутри клетки или вне её, широко наблюдался у бактерий. Бактерии и другие патогенные микроорганизмы обычно используют цитозольные «moonlighting proteins» на поверхности клетки для формирования и поддержания взаимодействия с организмом-хозяином. Более того некоторые из этих белков участвуют в заражении, инвазии, вирулентности и формировании биопленок. Процесс заселения бактерий в клетки организма-хозяина сопровождается их адгезией, в результате которой поверхностные белки микроорганизмов связываются с белками внеклеточного матрикса или компонентами эпителиальной слизистой оболочки. Но в некоторых случаях при локализации на поверхности клетки «moonlighting proteins» взаимодействуют непосредственно с мембранными белками клеток организма-хозяина. Все эти типы взаимодействия обеспечивают физическое сцепление бактериальных клеток с клетками хозяина. Так, бактерии рода *Listeria* для этих целей используют алкоголь-ацетальдегид-дегидрогеназу (LAP) для связывания с эпителиальными клетками кишечника [26], енолаза, участвующая в гликолизе, обнаружена на клеточной поверхности различных типов бактерий (*Streptococcus*, *Mycoplasma* и *Plasmodium falciparum*), где она вовлекается в связывание плазминогена, фибронектина и других белков и играет важную роль в инфицировании людей, собак и птиц [27,28,29], белок Ef-Tu из *Streptococcus gordonii* обладает способностью взаимодействовать с муцином [30], эндопептидаза *Streptococcus pneumoniae* используется для связывания плазминогена и фибронектина клеток организма-хозяина [31], белок GAPDH *Haemonchus contortus*, поражающий желудочно-кишечный тракт овец и коз, способен взаимодействовать с белком C3 системы комплимент, ингибируя таким способом каскад реакций этой системы, что приводит к понижению иммунного ответа со стороны организма-хозяина [32], а шаперон HSP70/DnaK,

может служить рецептором плазминогена на клеточной поверхности у бактерий рода *Neisseria* [33], *Mycobacterium tuberculosis* [34], *Bifidobacterium lactis* [35] и др.

Возможность выполнять несколько функций часто является лишь частью истории, связанной с многофункциональными гомоолигомерами. Местоположение и время действия каждого белка важны для поддержания здоровья и гомеостаза. Кроме того, мутации, которые изменяют аминокислотную последовательность белка, могут приводить к увеличению интенсивности функциональной активности или к формированию способности выполнять альтернативную (неоморфную) функцию и стать причиной образования белковых агрегатов [36]. Поэтому необходимо поддержание уровня экспрессии этих белков соответствующими типами клеток, которая должна осуществляться на конкретных этапах роста клеток и/или в ответ на воздействие факторов окружающей среды. При этом нокаутирование некоторых генов полифункциональных гомоолигомеров приводит к гибели эмбриона на ранних стадиях его развития несмотря на то, что экспрессия этих генов предполагается во взрослом состоянии, что также подчеркивает значимость «moonlighting proteins» в жизнеспособности организма.

Каждая из выполняемых функций «moonlighting proteins» может регулироваться независимо или имеет своего рода «переключатель», регулирующий выполнение той или иной функции. Один из таких типов переключения функциональной активности уже упоминался ранее для аконитазы, но является лишь одним из методов переключения между выполняемыми функциями. Другой тип переключения функциональной активности реализуется на уровне посттрансляционных модификаций. Фосфорилирование некоторых белковых компонентов рибосом приводит к их диссоциации, в результате чего эти белки попадают в ядро, где они начинают выполнять альтернативную функцию. Например, рибосомный белок S3 (rpS3) в ядре участвует в восстановлении поврежденной ДНК и может играть роль фактора транскрипции [37,38]. Белок L10a (rpL10a) может препятствовать размножению гемнивируса у растений [39, 40], а белок L13a (rpL13a) присоединяется к мультибелковому транскрипционному фактору [41]. Противоположный путь проходит рецептор эстрогена, он способен покинуть ядро в результате пальмитоилирования, что приводит к его способности взаимодействовать с сигнальными путями плазматической мембраны [42]. Таким образом, вследствие посттрансляционной модификации или других способов модификации большинство «moonlighting proteins» способно выполнять различные функции в цитоплазме, ядре, внутри или на поверхности органелл, клеточной мембране или вне клетки.

В то время как механизмы переключения между типами функциональной активности некоторых полифункциональных гомоолигомеров известны, механизм смены цитоплазматической локализации на мембранную или внеклеточную остается малопонятным. Существует несколько доказательств того, что эти белки именно секретируются, а не выходят из клетки в результате ее лизиса или гибели [43]. Во-первых, в супернатанте не зафиксировано присутствие других цитоплазматических белков, а профиль белков, обнаруженных в супернатанте или на поверхности клеток, не коррелирует с белковым профилем клетки. Например, у *Staphylococcus aureus* наивысший уровень секреции енолазы и альдолазы наблюдается во время экспоненциального роста, когда количество поврежденных клеток минимально [44], а введение одиночной аминокислотной замены в позиции K341 енолазы *Escherichia coli* приводит к потере её секреции даже в случае каталитически активного мутантного белка [45]. Аналогично в енолазе *Bacillus subtilis* делеция внутренней α -спирали также приводит к предотвращению её секреции [46]. Эти результаты подтверждают идею о том, что, вероятно, существует система(ы) секреции, по крайней мере для некоторых «moonlighting proteins». Способность Dps выполнять защитную функцию основана на его трех свойствах: взаимодействовать с ДНК, накапливать железо и ферроксидазной активности Dps. Это делает Dps чрезвычайно значимым в детоксикации клетки от токсичных ионов железа и перекиси водорода, а также в устойчивости клеток к воздействию кислот [47]. При этом относительно

недавно было показано, что олигомерная форма Dps проявляет зависимость от присутствия глюкуроната и галатуроната [48, 49], что свидетельствует о возможности регуляции его функциональной активности за счет присутствия некоторых лигандов.

Заключение

Таким образом, на сегодня известны сотни белков, которые имеют несколько, по-видимому, не связанных функций, большая часть которых, в том числе белки теплового шока, являются цитозольными белками, которые могут выполнять дополнительные функции при их перемещении на клеточную поверхность или во внеклеточное пространство. Данные протеомных исследований и изучение клеточной поверхности показывает, что список этих белков далеко не полный и может быть в значительной степени расширен. А результаты исследования структурно-функциональных характеристик многофункциональных гомоолигомеров про- и эукариот в значительной степени могут расширить представления о формировании патологических состояний. При этом изучение бактериальных «moonlighting proteins» может дать значительный спектр информации о механизмах, лежащих в основе их секреции и роли на поверхности мембраны, что может быть крайне востребовано при понимании процесса формирования бактериальной вирулентности и способов противодействия инфицированию.

Список литературы

1. Hendriks W. et al. Duck lens epsilon-crystallin and lactate dehydrogenase B4 are identical: a single-copy gene product with two distinct functions // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 1988. – Т. 85. – №. 19. – P. 7114-7118.
2. Piatigorsky J. Multifunctional lens crystallins and corneal enzymes: more than meets the eye // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 1998. – Т. 842. – №. 1. – P. 7-15.
3. Wistow G.J., Mulders J.W.M., de Jong W.W. The enzyme lactate dehydrogenase as a structural protein in avian and crocodilian lenses // *Nature*. – 1987. – Т. 326. – №. 6113. – P. 622-624.
4. Rao K.S., Chungoo N.K., Sinha A. Characterization of somatic embryogenesis in sandalwood (*Santalum album* L.) // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. – 1996. – Т. 32. – №. 3. – P. 123-128.
5. Rao P.V., Zigler Jr J.S. Extremely high levels of NADPH in guinea pig lens: correlation with zeta-crystallin concentration // *Biochemical and biophysical research communications*. – 1990. – Т. 167. – №. 3. – P. 1221-1228.
6. Huang Q.L. et al., 1987, *Curr. Eye Res.* (doi:10.3109/02713688709034836) Huang Q. L. et al. Zeta-crystallin, a novel lens protein from the guinea pig // *Current eye research*. – 1987. – Т. 6. – №. 5. – P. 725-732.
7. Basak A. et al. High-resolution X-ray crystal structures of human D crystallin (1.25 Å) and the R58H mutant (1.15 Å) associated with aculeiform cataract // *J. Mol. Biol.* – 2003. – Т. 328. – P. 1137-1147.
8. Banerjee S. et al. Iron-dependent RNA-binding activity of *Mycobacterium tuberculosis* aconitase // *Journal of bacteriology*. – 2007. – Т. 189. – №. 11. – P. 4046-4052.
9. Kennedy M.C. Mende-Mueller L, Blondin G.A., Beinert H. // Purification and characterization of cytosolic aconitase from beef liver and its relationship to the iron-responsive element binding protein. *Proc Natl Acad Sci USA*. – 1992. – Т. 89. – P.11730-11734.
10. Philpott CC., Klausner R. D., Rouault T.A. The bifunctional iron-responsive element binding protein/cytosolic aconitase: the role of active-site residues in ligand binding and regulation // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 1994. – Т. 91. – №. 15. – P. 7321-7325.

11. Pancholi V., Fischetti V.A. A major surface protein on group A streptococci is a glyceraldehyde-3-phosphate-dehydrogenase with multiple binding activity // *The Journal of experimental medicine*. – 1992. – Т. 176. – №. 2. – P. 415-426.
12. Matta S.K., Agarwal S., Bhatnagar R. Surface localized and extracellular Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase of *Bacillus anthracis* is a plasminogen binding protein // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*. – 2010. – Т. 1804. – №. 11. – P. 2111-2120.
13. Tunio S.A. et al. The role of glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (GapA-1) in *Neisseria meningitidis* adherence to human cells // *BMC microbiology*. – 2010. – Т. 10. – №. 1. – P. 280.
14. Lama A. et al. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase is a surface-associated, fibronectin-binding protein of *Trichomonas vaginalis* // *Infection and immunity*. – 2009. – Т. 77. – №. 7. – P. 2703-2711.
15. Fulde M. et al. Pneumococcal phosphoglycerate kinase interacts with plasminogen and its tissue activator // *Thrombosis and haemostasis*. – 2014. – Т. 112. – №. 03. – P. 401-416.
16. Bergmann S., Schoenen H., Hammerschmidt S. The interaction between bacterial enolase and plasminogen promotes adherence of *Streptococcus pneumoniae* to epithelial and endothelial cells // *International Journal of Medical Microbiology*. – 2013. – Т. 303. – №. 8. – P. 452-462.
17. Floden A.M., Watt J. A., Brissette C.A. *Borrelia burgdorferi* enolase is a surface-exposed plasminogen binding protein // *PloS one*. – 2011. – Т. 6. – №. 11. – P. e515231
18. Kunert A. et al. Immune evasion of the human pathogen *Pseudomonas aeruginosa*: elongation factor Tuf is a factor H and plasminogen binding protein // *The Journal of Immunology*. – 2007. – Т. 179. – №. 5. – P. 2979-2988.
19. Brix K. et al. Extracellularly occurring histone H1 mediates the binding of thyroglobulin to the cell surface of mouse macrophages // *The Journal of clinical investigation*. – 1998. – Т. 102. – №. 2. – P. 283-293.
20. Kumar S. et al. Characterization of glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase as a novel transferrin receptor // *The international journal of biochemistry & cell biology*. – 2012. – Т. 44. – №. 1. – P. 189-199.
21. Bocharov A.V. et al. Heat shock protein 60 is a high-affinity high-density lipoprotein binding protein // *Biochemical and biophysical research communications*. – 2000. – Т. 277. – №. 1. – P. 228-235.
22. Petit F.M. et al. Identification of sperm head proteins involved in zona pellucida binding // *Human reproduction*. – 2013. – Т. 28. – №. 4. – P. 852-865.
23. Kim K.P. et al. Adhesion characteristics of *Listeria* adhesion protein (LAP)-expressing *Escherichia coli* to Caco-2 cells and of recombinant LAP to eukaryotic receptor Hsp60 as examined in a surface plasmon resonance sensor // *FEMS microbiology letters*. – 2006. – Т. 256. – №. 2. – P. 324-332.
24. Fulde M. et al. Cooperative plasminogen recruitment to the surface of *Streptococcus canis* via M protein and enolase enhances bacterial survival // *MBio*. – 2013. – Т. 4. – №. 2. – P. e00629-12.
25. Bao S. et al. *Mycoplasma synoviae* enolase is a plasminogen/fibronectin binding protein // *BMC veterinary research*. – 2014. – Т. 10. – №. 1. – P. 223.
26. Ghosh A. K. et al. *Plasmodium* ookinetes coopt mammalian plasminogen to invade the mosquito midgut // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2011. – Т. 108. – №. 41. – P. 17153-17158.
27. Kesimer M. et al. Identification of salivary mucin MUC7 binding proteins from *Streptococcus gordonii* // *BMC microbiology*. – 2009. – Т. 9. – №. 1. – P. 163.
28. Agarwal V. et al. *Streptococcus pneumoniae* endopeptidase O (PepO) is a multifunctional plasminogen-and fibronectin-binding protein, facilitating evasion of innate immunity and invasion of host cells // *Journal of Biological Chemistry*. – 2013. – Т. 288. – №. 10. – P. 6849-6863.
29. Sahoo S. et al. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase of the parasitic nematode *H. aemonchus contortus* binds to complement C3 and inhibits its activity // *Parasite immunology*. – 2013. – Т. 35. – №. 12. – P. 457-467.

30. Knaust A. et al. Cytosolic proteins contribute to surface plasminogen recruitment of *Neisseria meningitidis* //Journal of bacteriology. – 2007. – Т. 189. – №. 8. – P. 3246-3255.
31. Xolalpa W. et al. Identification of novel bacterial plasminogen-binding proteins in the human pathogen *Mycobacterium tuberculosis* //Proteomics. – 2007. – Т. 7. – №. 18. – P. 3332-3341.
32. Candela M. et al. Binding of human plasminogen to *Bifidobacterium* //Journal of bacteriology. – 2007. – Т. 189. – №. 16. – P. 5929-5936.
33. Jeffery C.J. Proteins with neomorphic moonlighting functions in disease //IUBMB life. – 2011. – Т. 63. – №. 7. – P. 489-494.
34. Kim T.S., Kim H.D., Kim J. PKC δ -dependent functional switch of rpS3 between translation and DNA repair //Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research. – 2009. – Т. 1793. – №. 2. – P. 395-405.
35. Wan F. et al. IKK β phosphorylation regulates RPS3 nuclear translocation and NF- κ B function during infection with *Escherichia coli* strain O157: H7 //Nature immunology. – 2011. – Т. 12. – №. 4. – P. 335.
36. Carvalho C.M. et al. Regulated nuclear trafficking of rpL10A mediated by NIK1 represents a defense strategy of plant cells against virus //PLoS pathogens. – 2008. – Т. 4. – №. 12.
37. Rocha C.S. et al. The ribosomal protein L10/QM-like protein is a component of the NIK-mediated antiviral signaling //Virology. – 2008. – Т. 380. – №. 2. – P. 165-169.
38. Mazumder B. et al. Regulated release of L13a from the 60S ribosomal subunit as a mechanism of transcript-specific translational control //Cell. – 2003. – Т. 115. – №. 2. – P. 187-198.
39. Adlanmerini M. et al. Mutation of the palmitoylation site of estrogen receptor α in vivo reveals tissue-specific roles for membrane versus nuclear actions //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Т. 111. – №. 2. – P. E283-E290.
40. Ebner P., Rinker J., Götz F. Excretion of cytoplasmic proteins in *Staphylococcus* is most likely not due to cell lysis //Current genetics. – 2016. – Т. 62. – №. 1. – P. 19-23.
41. Ebner P. et al. Excretion of cytoplasmic proteins (ECP) in *S. taphylococcus aureus* //Molecular microbiology. – 2015. – Т. 97. – №. 4. – P. 775-789.
42. Boël G. et al. Is 2-phosphoglycerate-dependent automodification of bacterial enolases implicated in their export? //Journal of molecular biology. – 2004. – Т. 337. – №. 2. – P. 485-496.
43. Yang C.K. et al. An internal hydrophobic helical domain of *Bacillus subtilis* enolase is essential but not sufficient as a non-cleavable signal for its secretion //Biochemical and biophysical research communications. – 2014. – Т. 446. – №. 4. – P. 901-905.
44. Lacqua A. et al. Emergence of biofilm-forming subpopulations upon exposure of *Escherichia coli* to environmental bacteriophages //Appl. Environ. Microbiol. – 2006. – Т. 72. – №. 1. – P. 956-959.
45. Brown R.N. et al. A comprehensive subcellular proteomic survey of *Salmonella* grown under phagosome-mimicking versus standard laboratory conditions //International journal of proteomics. – 2012. – Т. 2012. – P.e21822021.
46. Cho Y. et al. Proteomic analysis of outer membrane proteins in *Salmonella enterica* Enteritidis //J Microbiol Biotechnol. – 2015. – Т. 25. – №. 2. – P. 288-95.
47. Calhoun L.N., Kwon Y.M. Structure, function and regulation of the DNA-binding protein Dps and its role in acid and oxidative stress resistance in *Escherichia coli*: a review //Journal of applied microbiology. – 2011. – Т. 110. – №. 2. – P. 375-386.
48. Бессонова Т.А. и др. Гексуронаты влияют на олигомерную форму структурного белка бактериального нуклеоида Dps и его способность связываться с линейными фрагментами ДНК // Биофизика. – 2016. – Т.61 – № 6. – С. 1059-1067.
49. Antipov S. et al. The oligomeric form of the *Escherichia coli* Dps protein depends on the availability of iron ions // Molecules. – 2017. – Т.22. – №22. – P. 1904.

С.С. Антипов¹, Е.В. Преображенская²

¹Воронеж мемлекеттік университеті, Воронеж, Ресей

²РФА жасушалар биофизикасы институты, Пуццино, Ресей

Көпфункционалды гомоолигомерлердің парадоксы: оларды оқшаулау әдістері және функционалдық белсенділікті реттеу механизмдері

Аңдатпа. Қазіргі уақытта «Moonlighting proteins» деп те аталатын көпфункционалды гомоолигомерлер бір полипептидтік тізбекте бірнеше биохимиялық немесе биофизикалық функцияларды орындау қабілетімен сипатталады. Бұл жағдайда функциялардың көптігі гендердің бірігуіне немесе бірнеше протеолитикалық фрагменттерге байланысты емес. Бүгінгі күні көптеген функциялары бар ақуыздарды қамтитын осы кластағы бірнеше жүздеген ақуыздар анықталды. Кейбіреулері катализ үшін белсенді орталықты, ал басқа ақуыздармен әрекеттесу үшін ақуыз бетінің басқа бөлігін пайдалану арқылы биохимиялық реакциялар каскадына қатысады. Олардың көпшілігі патологиялық жағдайлардың дамуына қатысады, сондықтан мұндай ақуыздардың орналасуын өзгертудің құрылымдық және функционалды ұйымдастырылуы мен механизмдері туралы мәліметтер әртүрлі патологиялардың алдын-алу және емдеу саласында өте қажет болуы мүмкін.

Түйін сөздер: гомоолигомерлер, функционалдық белсенділік, кристаллиндер, «Moonlighting proteins».

S.S. Antipov¹, E.V. Preobrazhenskaya²

¹Voronezh State University, Voronezh, Russia

²Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino, Russia

The paradox of multifunctional homo-oligomers: methods of their localization and mechanisms of regulation of functional activity

Abstract. Multifunctional homo-oligomers, now better known as "Moonlighting proteins", are characterized by the ability to perform more than one biochemical or biophysical function within a single polypeptide chain. In this case, the multiplicity of functions is not due to gene fusion or multiple proteolytic fragments. Nowadays, there have been identified several hundreds of proteins of this class, including proteins with a wide variety of functions. Some of them are involved in a cascade of biochemical reactions, using the active site for catalysis, and another part of the protein surface to interact with other proteins. Many of them are involved in the development of pathological conditions; therefore, data on the structural and functional organization and mechanisms of changes in the localization of such proteins may be in great demand in the field of prevention and treatment of various pathologies.

Keywords: homooligomers, functional activity, crystallins, "Moonlighting proteins".

Сведения об авторах:

Антипов С.С. – д.б.н., доцент кафедры биофизики и биотехнологии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия.

Преображенская Е.В. – к.б.н., Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино, Россия.

Antipov S.S. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biophysics and Biotechnology, Voronezh State University, Voronezh, Russia.

Preobrazhenskaya E.V. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino, Russia.

А.Н. Сарсенова^{1,2*}, С.А. Абиев¹, Т.Е. Дарбаева²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: assemgulsarsenova@gmail.com

Жайық өзені аңғары қара теректі орманды алқабының макромицеттер алуантүрлілігі

Аңдатпа. Батыс Қазақстан облысы шегіндегі Жайық өзені аңғары микобиотасы макромицеттерінің түрлік құрамын анықтауға бағытталған ғылыми-зерттеу жұмыстары 2019-2021 аралығында облыстың орманды алқаптарында жүргізілді. Далалық зерттеу жұмыстары негізінде облыс ормандарының негізгі орман құраушы түрі болып табылатын қара теректі (*Populus nigra*) ормандарында алғаш рет микологиялық талдау жүргізілді. Жайылма ормандарындағы қара теректі орман түзуші негізгі қауымдастықтарға геоботаникалық сипаттама да берілді. Зерттеу аймағы екі ірі Евразиялық-далалық және Сахара-Гобилік шөлейтті ботаникалық-географиялық зонада, голарктикалық патшалық, бореальдық және ежелгіжерортатеңіздік екі патшалықтармақтың шекарасында орналасқан. Жоғарыда аталған орман алқаптарының қалпақшалы саңырауқұлақтар биотасында алғаш рет *Agaricomycetes* класына жататын 7 қатар, 19 тұқымдас және 32 туысқа біріккен 42 макромицеттің түрі анықталды. Жетекші тұқымдастарды *Agaricaceae*, *Boletaceae*, *Polyporaceae*, *Russulaceae* құрайды. Экологиялық-трофикалық талдау нәтижелері микобиотада ксилотрофтар басымдық танытатындығын көрсетті, олар - 18 түр (42,9%), топырақтық сапротроф - 13 түр (31%) болса, микориза түзушілер - 11 түрді (26,1%) құрады. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, макромицеттердің түрлік құрамына өңірдің географиялық орналасуы, Жайық өзенінің геоморфологиялық құрылымы, жер бедерінің ерекшеліктері, сондай-ақ осы аумақтың топырақ-климаттық және гидрологиялық жағдайлары зерттеу нысанының әртүрлілігіне айтарлықтай әсерін тигізетіндігін негіздей аламыз.

Зерттеу аймағынан жиналып, анықталған макромицеттердің таксономиялық құрамы бұл аймақ үшін алғаш рет берілді.

Түйін сөздер: қара теректі орманы, өзен аңғары, макромицет, биологический алуантүрлілік, Жайық өзені.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-111-123

Кіріспе

Бүгінде биоалуантүрлілікті сақтау бүкіл әлем үшін өзекті мәселелердің әрі басым бағыттардың бірі екені даусыз [1, 2]. Өйткені ол мемлекеттердің экономикалық және саяси дамуының маңызды факторына айналып, қоршаған ортаның тұрақтылығы мен адам өмірінің сапасымен тығыз байланысты. Сондықтан табиғи экожүйелерге антропогендік қысымның күшеюі жағдайында биоәртүрліліктің құрамдас бөліктерінің бірі, биогеоценоздың ең маңызды гетеротрофты буыны – макромицеттертердің түрлік құрамын зерттеу маңызға ие [3]. Осындай ресурстық әлеуеті аз зерттелген ағзалар тобына, экожүйедегі орны зор, редуценттер жүйесінің бір бөлігіне Жайық аңғары қара теректі ормандарының қалпақшалы саңырауқұлақтары жатады.

Макромицеттер - әртүрлі қалташалы және базидиалды саңырауқұлақтардың өкілдерін біріктіріп, мицелиалды массаның едәуір дамуы және көзге көрінетін жемісті денелерінің пайда болуымен сипатталатын құрама топ [4-8].

Саңырауқұлақтар эукариоттар патшалығының ең үлкен, алуантүрлі патшалықтардың бірі ғана емес, сонымен қоса орман экожүйелерінің маңызды биологиялық бөлігі болып табылады [9]. Олар топырақ құнарлылығына, органикалық заттардың ыдырауына және минералдық

айналымға әсер ететін көптеген микробиологиялық және экологиялық үрдістерде де жетекші рөлге ие. Саңырауқұлақтар қоректік заттардың айналымындағы іргелі рөліне, патогендік және мутуалист ретіндегі қызметіне байланысты [10] үш негізгі функционалдық топқа бөлінеді: ағаштың ыдырауы мен топырақ түзілуіне ықпал ететін ағашты бұзатын саңырауқұлақтар [11], төсемікті ыдырататын және көміртегі мен азот динамикасында маңызды рөл атқаратын жер бетіндегі төсеміктік сапротрофты саңырауқұлақтар [12] және өсімдіктермен селбесіп, фосфор мен азоттың қабылдауын жеңілдететін микориза түзуші симбиотрофты саңырауқұлақтар [13, 14].

Саңырауқұлақтардың жаһандық әртүрлілігінің шамасы негізінен нақты белгісіз, бұл өз кезегінде әлі де тиянақты ұзақмерзімді зерттеулерді қажет етеді [15]. Жердегі саңырауқұлақтардың әртүрлілігін бағалау нәтижелері оны сипаттаудың таңдалған әдісіне байланысты айтарлықтай өзгеріп отырды. Көптеген жылдар бойы Хоксворттың ұсынған 1,5 миллион саңырауқұлақ түрі [16] әлемдегі саңырауқұлақтардың байлығының ең жиі келтірілген көрсеткіштердің бірі болды. Дегенмен бұл көрсеткіштің тек 100 000 жуығы сипатталғандығы белгілі еді [17]. Бұл бағалау бірқатар аймақтарда байқалған жоғары сатыдағы өсімдіктер мен саңырауқұлақтардың әртүрлілігі арасындағы тұрақты арақатынасқа [18], яғни бірнеше мекен орындарында бір өсімдік түріне орта есеппен алты саңырауқұлақ түрінен келетіндігін есепке алуға негізделген (Хоксворт индексі) шама. Кейін саңырауқұлақтардың әртүрлілігі туралы Blackwell өткізу қабілеттілігі жоғары секвенирлеу әдістеріне негізделген өз жұмыстарында 5,1 миллионға жуық түр бар екендігін болжады [19]. Алайда Hawksworth & Lücking [20] өз қолжазбаларында бұл асыра сілтелген мән деп көрсетіп, саңырауқұлақтардың түрлік құрамы бүгінде 2,2-ден 3,8 миллионға дейінгі түрді құрайды деген тұжырымға келді [20, 21]. Ал анықталып, сипатталған түрлер саны 120 000-ға жуық түрді құраса, бұл бүгінде Жер шарында ресми сипатталған макромицеттердің 10 % ғана деп есептеледі [20].

Біздің еліміздің түрлі аудандарындағы макромицеттердің түрлік құрамына көптеген жылдар бойы зерттеу жұмыстары жүргізіліп келеді. Алайда кейбір аймақтар әлі де микологиялық тұрғыдан нашар немесе біркелкі зерттелмеген. Сондай аймақтардың қатарынан Батыс Қазақстан облысының микобиотасы орын алады. Бүгінге дейін Жайық өзенінің жайылмасында және оның салаларында таралған орман қауымдастықтарының макромицеттер биотасына әлі күнге дейін толыққанды жүйелі зерттеу жұмыстары жүргізілмеген [22]. Осы уақытқа дейін Жайық өзені алқабының флорасы мен өсімдік жамылғысына кең көлемде зерттеулер жүргізілгеніне қарамастан, макромицеттерінің түрлік құрамын анықтауға бағытталған микологиялық зерттеулер тек фрагментарлы көрініс тапқан. Мұндай маңызды деректердің жеткіліксіздігі, аталған аумаққа мақсатты бағытталған ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуімізге түрткі болды. Сол себепті де Батыс Қазақстан облысы шегіндегі Жайық өзені аңғары орманды алқабының негізгі орман құраушы жынысы болып табылатын қара теректі ормандар микобиотасының түрлік құрамын анықтауға бағытталған жұмыстар өзекті деп пайымдай аламыз.

Осыған орай, жұмыстың мақсаты: Жайық өзені аңғары қара теректі ормандары макромицеттерінің түрлік құрамын анықтау болып табылады.

Жайық өзені жайылмасының орман құрушы жыныстары болып *Populus alba* және *Populus nigra* тұратын теректі ормандар табылады. Тіршілік ету ортасының экологиялық жағдайына, ағаш, бұта және шөптесін өсімдіктердің құрамына байланысты теректі ормандар әртүрлі топтарға біріктіріледі. Бұл теректі ормандар облыс аумағының 43679 га (48,8%) алып жатыр [23].

Материалдар мен әдістемелер

Зерттеу нысаны: Жайық өзені аңғары қара теректі ормандарының макромицеттер биотасы болып табылады.

Зерттеу материалдары автордың өзінің Батыс Қазақстан облысы шегінде Жайық өзені аңғары орманды алқабына 2019-2021 жж. алдын-ала белгіленген, маршрутты әдіспен жүргізілген жоспарлы ғылыми экспедициялық зерттеулер нәтижесінде алынды. Осы уақытқа дейін жүргізілген жалпы саны 40-тан астам далалық зерттеу жұмыстары негізінде Жайық өзені орманды алқабында 600-ге жуық макромицеттердің үлгілерін жинап, маршруттық нүктелерін (GPS навигатор бойынша координаттары келтірілген (GPS, Garmin eTrex 30X)) белгілеп, бақылау жүргіздік.

Саңырауқұлақтың жемісті денелерін жинау, кептіру және сақтау, олардың таралу ерекшеліктерін, субстраттарын, өсіп тұрған ортасындағы өсімдіктер қауымдастығын анықтау микологиялық және ботаникалық зерттеулерде қолданылып жүрген әдістерге сүйене отырып жүргізілді, гербарийлеу кезінде жойылатын макроморфологиялық белгілерін сипаттау үшін жемісті денелері суретке түсірілді. Үлгілердің жемісті денесін суретке түсіру үшін Canon EOS 4000D камерасы мен Iphone 12 камерасы қолданылды. Гербарилеуге және ұзақ мерзімге сақтауға арналған саңырауқұлақтың жемісті денелері зиянкестерден залалсыздандыру кептіргіш шкафтарда 50-55°C-та 30-40 мин бойы жүргізілді. Әрбір саңырауқұлақ үлгісі тиісті өңдеуден өткізілген соң арнайы нөмірленген қаптамада сақтауға қойылды. Әр қаптамада саңырауқұлақ үлгісінің реестрлік номері, түрлік атауы, жиналған жері мен күні және коллектордың аты-жөні көрсетілді.

Саңырауқұлақ түрлерін идентификациялау үлгінің морфологиялық сипаттамасы негізінде үлгілердің балғын (свежий) және кептірілген күйінде, сонымен қоса далалық жағдайда сипатталған белгілер мен суреттерді талдау көмегімен жүргізілді. Саңырауқұлақтың жемісті денелерінің, базидияларының және спораларының макро- және микроөлшемдері бинокулярлық лупалар, Olympus DP72 микроскопымен EVOS® FL/FL Color флуоресцентті микроскопын пайдалана отырып жасалды, суретке түсірілді.

Саңырауқұлақтардың атауы мен авторлық аббревиатура Index Fungorum (www.indexfungorum.org) мәліметтер базасына [24], өсімдіктердікі International Plant Names Index (IPNI 2008) [25] сәйкес көрсетілді.

Нәтижелер мен талқылаулар

Жайық өзені аңғары солтүстіктен оңтүстікке қарай Жарсуат (N 51°25.083 E 053°17.156) (Батыс Қазақстан облысы) ауылынан Индер (N 48°35.520 E 051°47.754) (Атырау облысы) ауылына дейін жайылманың үлкен аумағын алып жатыр. Бұл аумақтың ұзындығы шамамен 720-750 км құрайды. Осындай ұзындығының арқасында Жайық өзені аңғарында климаттық жағдайлардың ғана ауысуы емес, сонымен қоса табиғи зоналардың ауысуы да жүреді (Евразиятық далалық және Сахара-Гобийлік шөлейт зона). Сонымен қатар жайылма ормандарда тіршілік ету жағдайлары, орман алқабы, бұталы және шөптесін жамылғысының құрамы да өзгереді.

Жайық өзені аңғары теректі орманды алқабында қара терек (*Populus nigra*) басымдық танытады. Ағашты жамылғыда тал (*Salix alba*), ақ терек (*Populus alba*), кей кезде шегіршін (*Ulmus laevis*) кездеседі. Бұталы қабат аса байқалмайды, тек солтүстігінде қаражеміс (*Rhamnus cathartica*), итмұрын (*Rosa canina*) негізінде көрініс тапқан. Шөптесін жамылғыда астық тұқымдастартанқылтанақсыз арпабас (*Bromopsis inermis*), жатаған бидайық (*Elytrigia repens*) басымдық көрсетсе, ал қызылбоаяушөп (*Galium boreale*) кей жерлерде кездеседі.

Зерттеу аймағына жүргізілген зерттеулер нәтижесінде Жайық өзені аңғары қара теректі орманды алқабының макромицеттер биотасында Agaricomycetes класына жататын 7 қатар, 19 тұқымдас және 32 туысқа біріккен 42 макромицеттердің түрлік құрамы анықталды (кесте 1).

Кесте 1

Жайық өзені аңғары қара теректі орман қауымдастығының макромицеттер биотасының таксономиялық құрылымы

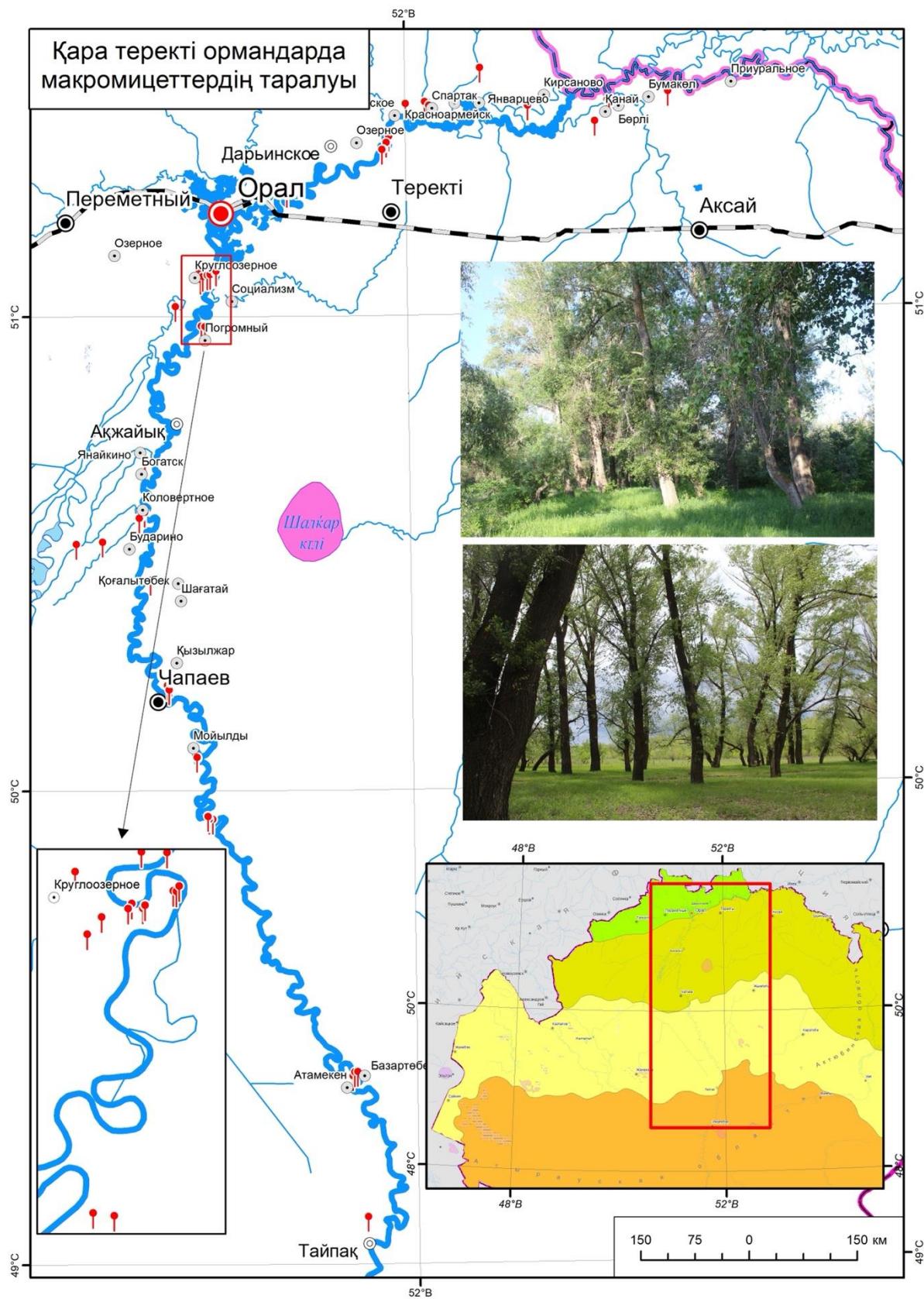
Класс, қатар, тұқымдас (туыс/ түрлер саны)	Туыс (түрлер саны)
Класс: AGARICOMYCETES (42)	
Қатар: AGARICALES(11/20)	
Тұқымдас: Agaricaceae (3/5)	<i>Agaricus (3), Leucoagaricus (1), Battarrea (1)</i>
Amanitaceae (1/1)	<i>Amanita (1)</i>
Cortinariaceae(1/1)	<i>Cortinarius (1)</i>
Marasmiaceae (1/1)	<i>Marasmius (1)</i>
Hymenogastraceae(1/2)	<i>Hebeloma (1), Galerina (1)</i>
Lycoperdaceae (1/2)	<i>Lycoperdon (1), Calvatia (1)</i>
Pleurotaceae (1/1)	<i>Pleurotus (1)</i>
Pluteaceae (1/2)	<i>Volvariella (2)</i>
Psathyrellaceae (1/1)	<i>Coprinellus (3)</i>
Strophariaceae (1/1)	<i>Pholiota (1)</i>
Tubariaceae (1/1)	<i>Cyclocybe (1)</i>
Қатар: BOLETALES (1/5)	
Boletaceae (3/5)	<i>Boletus (1), Leccinum (3), Tylopilus (1)</i>
Қатар: GEASTRALES (1/2)	
Geastraceae (1/2)	<i>Geastrum (1), Myriostoma (1)</i>
Қатар: GLOEOPHYLLALES (1/1)	
Gloeophyllaceae (1/1)	<i>Neolentinus (1)</i>
Қатар: HYMENOGASTRALES(1/2)	
Hymenochaetaceae (1/1)	<i>Phellinus (2)</i>
Қатар: POLYPORALES (3/8)	
Fomitopsidaceae (1/2)	<i>Fomitopsis(1), Rhodofomes (1)</i>
Laetiporaceae (1/1)	<i>Laetiporus (1)</i>
Polyporaceae (5/5)	<i>Fomes (1), Lenzites (1), Lentinus (1), Ganoderma (1), Cellulariella(1)</i>
Қатар: RUSSULALES (1/4)	
Russulaceae (2/4)	<i>Lactarius (2), Russula (2)</i>

Жиналған үлгілерді таксондық идентификациялау және жүйелік талдау нәтижесінде қалпақшалы саңырауқұлақтардың ішінде *Agaricaceae* тұқымдасы - 5 түр, *Boletaceae* тұқымдасы - 5 түр, *Polyporaceae* тұқымдасы - 5 түр, *Russulaceae* тұқымдасы - 4 түр, *Psathyrellaceae* тұқымдасы - 3 түр, *Hymenogastraceae*, *Hymenochaetaceae*, *Lycoperdaceae*, *Pluteaceae*, *Geastraceae*, *Fomitopsidaceae* тұқымдастары 2 түрден ғана анықталды. *Amanitaceae*, *Cortinariaceae*, *Marasmiaceae*, *Pleurotaceae*, *Strophariaceae*, *Tubariaceae*, *Gloeophyllaceae*, *Laetiporaceae* тұқымдастары бір-бір түрден анықталды.

Зерттеу жұмысымыздың барысында тіршілік ету жағдайларына байланысты өзен жайымаларында (арна маңы, орталық және терраса маңы) таралған өсімдік қауымдастықтарын жайылма түріне қарай жіктеп, макромизеттерді анықталып, тіркелген қауымдастықтарына сай ажыраттық.

Терраса маңында қара теректі - бүлдіргенді (*Populus nigra*, *Rubus caesius*), қара теректі-итмұрынды-қияқөлеңді (*P. nigra*, *Rosa majalis*, *Carex acutiformis*, *Carex supina*), қара теректі - бүлдіргенді - інжугүлді (*P. nigra*, *Rubus caesius*, *Convallaria majalis*), қара теректі - миялы (*P. nigra*, *Glycyrrhiza glabra*), қара теректі - доланалы-інжугүлді (*P. nigra*, *Crataegus ambigua*) қауымдастықтар анықталса, терраса үстіне қара теректі - інжугүлді (*P. nigra*, *Convallaria majalis*), қара теректі - рудералды - бидайықты (*P. nigra*, *Elytrigia repens*), қара теректі - тәуірмиялы (*P. nigra*, *Glycyrrhiza aspera*), қара теректі - рудералды (*P. nigra*, (*Cannabis ruderalis*, *Atriplex oblongifolia*), қара теректі - еркекшөпті (*P. nigra*, *Agropyron desertorum*) қара теректі -түйетабанды (*P. nigra*, *Zygophyllum fabago*), қара теректі айрауықты (*P. nigra*, *Calamagrostis epigejos*) қауымдастықтар тән.

Орталық жайылмада қара теректі бүлдіргенді (*P. nigra*, *Rubus caesius*), қара теректі әртүрлішөпті - үшкірлеу қияқөлеңді (*P. nigra*, *Carex acutiformis*), қара теректі әртүрлішөпті - қоңырбасты(*P. nigra*, *Poa pratensis*), ақ талды-қара теректі - үшкірлеу қияқөлеңді (*Salix alba*, *P. nigra*, *Carex acutiformis*), шағанды - қара теректі (*Fraxinus exelsior*, *P. nigra*), шағанды - талды - қара теректі (*Fraxinus exelsior*, *Salix alba*, *P. nigra*), қара теректі бүлдіргенді - інжугүлді (*P. nigra*, *Rubus caesius*, *Convallaria majalis*), қара теректі - рудералды - қызылбояушөпті - арпабасты (*P. nigra*, *Galium boreale*, *Bromopsis inermis*), шегіршінді - қара теректі - қалақайлы (*Ulmus laevis*, *P. nigra*, *Urtica dioica*), қара теректі жусанды (*P. nigra*, *Artemisia abrotanum*), қара теректі ащы жусанды (*P. nigra*, *Artemisia absinthium*), қара теректі доңызөлең қияқөлеңді (*P. nigra*, *Carex praecox*), қара теректі - қияқөлеңді - жусанды (*P. nigra*, *Carex praecox*, *Artemisia austriaca*), шегіршінді - қара теректі - кирказонды (*Ulmus laevis*, *P. nigra*, *Aristolochia clematites*), қара теректі - бөрте жусанды - арпабасты (*P. nigra*, *Artemisia austriaca*, *Bromopsis inermis*), қара теректі - үшкір қияқөлеңді (*P. nigra*, *Carex acuta*), қара теректі - қызыл миялы (*P. nigra*, *Glycyrrhiza glabra*), қара теректі - биік жусанды - астық тұқымдасты (*P. nigra*, *Artemisia abrotanum*, *Festuca australis*, *F. ovina*), қара теректі үшкірлеу қияқөлеңді (*P. nigra*, *Carex acutiformis*), қара теректі арпабасты (*P. nigra*, *Bromopsis inermis*), қара теректі - қоңырбасты - қияқөлеңді (*P. nigra*, *Poa pratensis*, *Carex praecox*), қара теректі - ақ теректі - кирказонды (*P. nigra*, *P. alba*, *Aristolochia clematites*), қара теректі - қызылбояушөпті (*P. nigra*, *Galium boreale*) қауымдастықтар таралған (Сурет 1).



Сурет 1. Қара теректі орманды алқапта тіркелген макромицеттердің таралу карта-кескіні

Арна маңында қара теректі - қияқөлеңді - жалбызды (*P.nigra, Carex acuta, Mentha australis*), қара теректі - қарамасақ қияқөлеңді (*P.nigra, Carex melanostachya*), қара теректі - шағанды - талшық сүтгігенді (*P.nigra, Fraxinus exelsior, Euphorbia virgata*), қара теректі - рудералды - көркем қияқөлеңді (*P.nigra, Carex vulpina*), қара теректі айрауықты (*P. nigra, Calamagrostis epigejos*), қара теректі - бүлдіргенді - қияқөлеңді (*P.nigra, Rubus caesius, Carex vulpina*) қауымдастықтар кездесті.

Терраса маңы жайылмасында қара теректі - доланалы-інжугүлді қауымдастықта *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, қара теректі-итмұрынды-қияқөлеңді қауымдастықта *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer, қара теректі - бүлдіргенді де *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Neolentinus cyathiformis* (Schaeff.) Della Magg. & Trassin., қара теректі - бүлдіргенді - інжугүлді де *Lactarius resimus* (Fr.) Fr., *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper & Tjall.-Beuk. кездесті.

Терраса үсті жайылмасында таралған қара теректі - еркепшөпті қауымдастықта *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer, *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst, қара теректі айрауықтыда *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, қара теректі тәуірмиялы қауымдастықта *Leucoagaricus barsii* (Zeller) Vellinga анықталды.

Орталық жайылмадағы қара теректі - үшкір қияқөлеңді - әртүрлішөпті қауымдастықта *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, *Lactarius resimus* (Fr.) Fr. табылса, қара теректі бүлдіргенді қауымдастықта *Neolentinus cyathiformis* (Schaeff.) Della Magg. & Trassin., *Fomes fomentarius* (L.) Fr., қара теректі әртүрлішөпті - қоңырбасты қауымдастықта *Leccinum duriusculum* (Schulzer ex Kalchbr.), ақ талды-қара теректі - үшкірлеу қияқөлеңді де *Boletus edulis* Bull., қара теректі інжугүлді де *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper & Tjall.-Beuk., *Phellinus igniarius* (L.) Quél., шағанды - талды - қара теректі қауымдастықта *Fomes fomentarius* (L.) Fr., қара теректі - бүлдіргенді-інжугүлді қауымдастықта *Russula foetens* Pers, қара теректі - шағанды да *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, қара теректі - рудералды - қызылбояушөпті де *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), шегіршінді - қара теректі - қалақайлы да *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, шегіршінді - қара теректі - кирказондыда *Coprinus comatus* (O.F. Müll.) Pers., қара теректі - қарамасақ қияқөлеңді қауымдастықта *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), *Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr., қара теректі бүлдіргенді де *Agaricus campestris* L., *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper & Tjall.-Beuk., *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer, *Neolentinus cyathiformis* (Schaeff.) Della Magg. & Trassin. қара теректі - қияқөлеңді - жалбыздыда *Lactarius controversus* Pers., *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper & Tjall.-Beuk., қара теректі - биік жусанды қауымдастықта *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper & Tjall.-Beuk., *Agaricus campestris* L., қара теректі - доңызөлеңді қауымдастықта *Galerina marginata* (Batsch) Kühner, қара теректі - рудералды - доңызөлең қияқөлеңді қауымдастықта *Cortinarius armillatus* (Fr.) Fr., қара теректі - доңызөлең қияқөлеңді - бөрте жусанды қауымдастықта *Lycoperdon perlatum* Pers., қара теректі жусанды - қияқөлеңдіде *Russula foetens* Pers., шегіршінді - қара теректі - кирказондыда *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling, қара теректі - үшкірлеу қияқөлеңдіде *Russula foetens* Pers., қара теректі - бөрте жусанды - арпабастыда *Lenzites betulinus* (L.) Fr., ақ теректі - үшкір қияқөлеңді - қара теректі қауымдастықта *Lactarius resimus* (Fr.) Fr., қара теректі - қызыл миялыда *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm тіркелді. Қара теректі - биік жусанды - көркем қияқөлеңді қауымдастықта *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, қара теректі - бетегелі қауымдастықта *Russula* sp., қара теректі - биік жусанды - астық тұқымдастыда *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), қара теректі рудералды - көркем қияқөлеңді *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, қара теректі айрауықты қауымдастықта *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill., қара теректі - рудералды - бидайықты қауымдастықта *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Phellinus pomaceus* (Pers.) Maire, қара теректі - арпабасты қауымдастықта *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer, қара теректі - көркем қияқөлеңдіде *Calvatia cyathiformis* (Bosc) Morgan, қара теректі биік жусанды - қарамасақ қияқөлеңдіде *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer, қара теректі - доңызөлең қияқөлеңді - қоңырбастыда *Amanita vittadinii* (Moretti) Vittad., қара теректі қызылбояушөпті қауымдастықта *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling анықталды. Жайық өзенінің төменгі ағысындағы орталық

жайылманың жал аралық ойысындағы қара теректі- үшкірлеу қияқөлеңді қауымдастықта *Battarrea phalloides* (Dicks.) Pers., *Myriostoma coliforme* (Dicks.) Corda, *Rhodofomes roseus* (Alb. & Schwein.) Kotl. & Pouzar, қара теректі - доңызөлең қияқөлеңдіде *Agaricus campestris* L., *Amanita vittadinii* (Moretti) Vittad., *Geastrum coronatum* Pers., қара теректі - арпабасты қауымдастықта *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer макромицеттері тіркелді.

Арна маңында қара теректі - қияқөлеңді - жалбызды қауымдастықта *Lactarius resimus* (Fr.) Fr., *Agaricus campestris* L., қара теректі - қарамасақ қияқөлеңдіде *Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead, қара теректі - шағанды - талшық сүттігендіде *Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., қара теректі - рудералды - көркем қияқөлеңдіде *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, қара теректі айрауықтыда *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Coprinellus micaceus* (Bull.) Vilgalys, қара теректі - бүлдіргенді - қияқөлеңді қауымдастықта *Marasmius oreades* (Bolton) Fr кездесті.

Жоғарыда байқағанымыздай макромицеттердің түрлік құрамы орталық жайылмада басқа жайылмаларға қарағанда айтарлықтай көп. Макромицеттердің мұндай әртүрлілігіне орталық жайылмада жер бетінің жалпылай тегістеу келуі, кейде осы аумақта көтеріңкі жалдар мен созылыңқы немесе табақша тәрізді келген ойпатшалар байқалуы, қарасулардың кездесуі әсер етіп қоймай, сонымен қатар өсімдіктер қауымдастығының да бай түрлік (24 қауымдастық) құраммен көрініс табуы өз әсерін тигізгенін болжай аламыз. Әрине, микроклимат жағдайлары, маусымдық циклдар, биіктік, температура және жауын-шашын мөлшері сияқты қоршаған орта параметрлерін де назарға алған орынды.

Микобиотаның басты сипаттамаларының бірі оның трофикалық құрылымы болып табылады. Өйткені саңырауқұлақтардың трофикалық байланыстарын зерттеу табиғи экожүйеде негізгі рөлге ие макромицеттердің экологиялық байланыстарын тануда алдыңғы кезекте тұрады. Табиғи экожүйелерде биологиялық тепе-теңдік тірі ағзалардың тіршілік әрекетімен, соның ішінде макромицеттермен негізделеді. Саңырауқұлақтардың экологиялық-трофикалық арақатынасы зат айналу үрдісіндегі және ценоздардағы энергияның жүруін көрсетеді, яғни қоршаған ортаның биологиялық индикаторы ретінде бола алады.

Биогеоценоздағы макромицеттердің трофикалық байланысы осы ағзалардың эволюциялық дамуының салдары, тіршілікке бейімделуінің нәтижелері олардың кеңістікте таралуы, экологиялық-трофикалық топтарға бөлінуі болып табылады. Л.Г.Бурова көрсеткендей [26] субстрат макромицеттердің алуантүрлілігіне әсер ететін негізгі фактор, ол тек қана қоректік заттардың көзі емес, сонымен бірге макромицеттердің тіршілік ортасы екенін естен шығармаған жөн. Осы орайда зерттеу аумағында жүргізілген экологиялық-трофикалық талдау нәтижелері зерттеу аумағының шегінде сапротрофты түрлер басымдық танытатындығын көрсетті. Соның ішінде ксилотрофтар (тірі ағашта, өлген ағашта) - 18 түр (42,9%), топырақтық сапротроф - 13 түр (31%), ал анықталған түрлердің ішінде микориза түзушілердің үлесі - 11 түрді (26,1%) құрады.

Қорытынды

1. Жайық өзені аңғары қара теректі ормандарына геоботаникалық сипаттама жасалды. Жайық өзені аңғары теректі орманды алқабында қара терек (*Populus nigra*) басымдық танытады. Ағашты жамылғыда тал (*Salix alba*), ақ терек (*Populus alba*), кей кезде шегіршін (*Ulmus laevis*) кездеседі. Бұталы қабат аса байқалмайды, тек солтүстігінде қаражеміс (*Rhamnus cathartica*), итмұрын (*Rosa canina*) негізінде көрініс тапқан. Шөптесін жамылғыда астық тұқымдастардан қылтанақсыз арпабас (*Bromopsis inermis*), жатаған бидайық (*Elytrigia repens*) басымдық көрсетеді.

2. Зерттеу аумағы шегіндегі қара теректі орман алқаптары микобиотасына талдау жасалды. Нәтижесінде макромицеттердің Agaricomycetes класына жататын 7 қатар, 19 тұқымдас және 32 туысқа біріккен 42 түрлік құрамы анықталды. Жиналған үлгілерді таксондық идентификациялау және жүйелік талдау нәтижесінде қалпақшалы саңырауқұлақтардың ішінде Agaricaceae

тұқымдасы - 5 түр, Boletaceae тұқымдасы - 5 түр, Polyporaceae тұқымдасы - 5 түр, Russulaceae тұқымдасы - 4 түр, Psathyrellaceae тұқымдасы - 3 түр, Hymenogastraceae, Hymenochaetaceae, Lycoperdaceae, Pluteaceae, Geastraceae, Fomitopsidaceae тұқымдастары 2 түрден ғана анықталды. Amanitaceae, Cortinariaceae, Marasmiaceae, Pleurotaceae, Strophariaceae, Tubariaceae, Gloeophyllaceae, Laetiporaceae тұқымдастары бір-бір түрден анықталды.

3. Тіршілік ету жағдайларына байланысты өзен жайылмаларына сай анықталған өсімдік қауымдастықтарындағы макромицеттерді анықтау нәтижелері макромицеттердің түрлік құрамы орталық жайылмада басқа жайылмаларға қарағанда айтарлықтай жоғары екендігі анықталды. Мұндай нәтижеге орталық жайылмада жер бетінің жалпылай тегістеу келуі, осы аумақта көтеріңкі жалдар мен созылыңқы немесе табақша тәрізді келген ойпатшалар байқалуы, қарасулардың кездесуі әсер етіп қоймай, сонымен қатар өсімдіктер қауымдастығының да бай түрлік (24 қауымдастық) құраммен көрініс табуы өз әсерін тигізгенін болжай аламыз.

4. Экологиялық-трофикалық талдау нәтижелері микобиотада ксилотрофтар басымдық танытатындығын көрсетті, олар -18 түр (42,9%), топырақтық сапротроф - 13 түр (31%) болса, микориза түзушілер - 11 түрді (26,1%) құрады.

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, макромицеттердің түрлік құрамына өңірдің географиялық орналасуы, Жайық өзенінің геоморфологиялық құрылымы, жер бедерінің ерекшеліктері, сондай-ақ осы аумақтың топырақ-климаттық және гидрологиялық жағдайлары зерттеу нысанының әртүрлілігіне айтарлықтай әсерін тигізетіндігін негіздей аламыз.

Әдебиеттер тізімі

1. Halme P., Kotiaho J. S. The importance of timing and number of surveys in fungal biodiversity research //Biodiversity and Conservation. – 2012. – Vol. 21. – №. 1. – P. 205-219.
2. Heilmann-Clausen J. et al. A fungal perspective on conservation biology //Conservation biology. – 2015. – Vol. 29. – №. 1. – P. 61-68.
3. Blackwell M., Vega F.E. Lives within lives: hidden fungal biodiversity and the importance of conservation //Fungal Ecology. – 2018. – Vol. 35. – P. 127-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>.
4. He M.Q. et al. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota //Fungal diversity. – 2019. – Vol. 99. – №. 1. – P. 105-367.
5. Tedersoo L. et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses //Fungal diversity. – 2018. – Vol. 90. – №. 1. – P. 135-159.
6. Iršėnaitė R. et al. Macromycetes and myxomycetes of Asveja Regional park (Lithuania) //Botanica Lithuanica. – 2013. – Vol. 19. – №. 1. – P. 8-21.
7. Zervakis G. I., Dimou D., Polemis E. Fungal diversity and conservation in the Mediterranean area: Recent advances in the inventory of Greek macromycetes //Mycologia balcanica. – 2004. – Vol. 1. – P. 31-34.
8. Змитрович И.В., Столярская М.В., Калиновская Н.И., Попов Е.С. и др. Макромицеты Нижне-Свирского заповедника (аннотированный список видов). – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2015. – 185 с.
9. Zhang Y. et al. Exploring the species diversity of edible mushrooms in Yunnan, Southwestern China, by DNA barcoding //Journal of Fungi. – 2021. – Vol. 7. – №. 4. – P. 310. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7040310>
10. Caiafa M.V. et al. Functional diversity of macromycete communities along an environmental gradient in a Mexican seasonally dry tropical forest //Fungal Ecology. – 2017. – Vol. 28. – P. 66-75.

11. Lonsdale D., Pautasso M., Holdenrieder O. Wood-decaying fungi in the forest: conservation needs and management options //European Journal of Forest Research. – 2008. – Vol. 127. – №. 1. – P. 1-22.
12. Lindahl B., Boberg J. Distribution and function of litter basidiomycetes in coniferous forests //British Mycological Society Symposia Series. – Academic Press, 2008. – P. 183-196.
13. Read D.J., Perez-Moreno J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems—a journey towards relevance? //New phytologist. – 2003. – Vol. 157. – №. 3. – P. 475-492.
14. Tedersoo L., May T. W., Smith M. E. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages //Mycorrhiza. – 2010. – Vol. 20. – №. 4. – P. 217-263. DOI: 10.1007/s00572-009-0274-x.
15. Jones M.D.M., Richards T.A. 3 Environmental DNA Analysis and the Expansion of the Fungal Tree of Life //Evolution of fungi and fungal-like organisms. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. – P. 37-54.
16. Rudolph S. et al. Temporal variation of fungal diversity in a mosaic landscape in Germany //Studies in Mycology. – 2018. – Vol. 89. – P. 95-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.01.001>.
17. Hawksworth D.L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation //Mycological research. – 1991. – Vol. 95. – №. 6. – P. 641-655. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80810-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80810-1).
18. Hawksworth D.L. The magnitude of fungal diversity: the 1· 5 million species estimate revisited //Mycological research. – 2001. – Vol. 105. – №. 12. – P. 1422-1432. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756201004725>.
19. Blackwell M. The Fungi: 1, 2, 3... 5.1 million species? //American journal of botany. – 2011. – Vol. 98. – №. 3. – P. 426-438. DOI: <https://doi.org/10.3732/AJB.1000298>.
20. Hawksworth D. L., Lücking R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. In: The fungal kingdom. ASM Journals. Microbiology Spectrum. – 2017. – Vol. 5. – №4. – P. 79-95. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016>.
21. Falandysz J., Treu R. Fungi and environmental pollution //Journal of Environmental Science and Health, Part B. – 2017. – Vol. 52. – №. 3. – P. 147-147.
22. Абиев С.А., Дарбаева Т.Е., Сарсенова А.Н. Батыс Қазақстан облысы микобиотасының зерттелу тарихы // Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Хабаршысы. Биологиялық ғылымдар сериясы. – 2021. – № 3(136) – Б. 26-34. DOI: 10.32523/2616-7034-2021-136-3-26-34.
23. Батыс Қазақстан облысының Табиғи ресурстар және табиғат пайдалануды реттеу басқармасының ресми сайты. [Электронды ресурс] – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/bko-zher-raidalanuy?lang=ru> (Өтінім берілген күн: 07.10.2021).
24. Index Fungorum Database. [Электронды ресурс] – URL: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (Өтінім берілген күн: 07.09.2021).
25. IPNI. The International Plant Names Index. Author query. [Электронды ресурс] – URL: <http://www.ipni.org/ipni/authorsearchpage.do> (Өтінім берілген күн: 07.09.2021).
26. Бурова Л.Г. Экология грибов макромицетов. – Москва: Рипол Классик, 1986. – 222 с.

А.Н. Сарсенова^{1,2}, С.А. Абиев¹, Т.Е. Дарбаева²¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан²Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, Уральск, Казахстан**Разнообразие макромицетов в чернотопольевых лесах долины реки Урал**

Аннотация. Научно-исследовательские работы по выявлению видового состава микобиоты долины реки Урал в пределах Западно-Казахстанской области (ЗКО) проводились в лесных сообществах региона с 2019 по 2021 год. На основе полевых исследований впервые было проведено микологическое описание чернотопольевых (*Populus nigra*) лесов, которые являются основными лесообразующими породами исследуемой территории. Также было проведено геоботаническое описание основных чернотопольевых сообществ. Район исследования расположен в пределах двух ботанико-географических областей: в Евразийской степной и Сахаро-Гобийской пустынной зонах, Голарктического царства, на границе Бореального и Древнесредиземноморского подцарства. На всей пойме протяжении р. Урал топольевые леса являются господствующими породами. В исследуемых чернотопольевых лесах хорошо наблюдается биота шляпочных грибов. При исследовании разнообразия макромицетов в биоте шляпочных грибов чернотопольевых лесов зарегистрировано 42 вида макромицетов, относящихся к 32 родам и 19 семействам, 7 порядкам класса Agaricomycetes. Ведущими семействами являются *Agaricaceae*, *Boletaceae*, *Polyporaceae*, *Russulaceae*. Эколого-трофический анализ показал преобладание ксилотрофов (18 видов, 42,9%) и гумусовых сапротрофов (13 видов, 31%) над микоризообразователями (11 видов, 26,1%). По результатам исследования можно предположить, что на видовой состав макромицетов оказывают существенное влияние географическое положение региона, геоморфологическое строение реки Урал, а также почвенно-климатические и гидрологические условия края.

Таксономический состав макромицетов, собранных и идентифицированных в районе исследования, представлен впервые для этого района.

Ключевые слова: чернотопольевые леса, долина реки, макромицет, биоразнообразие, река Урал.

A.N. Sarsenova^{1,2}, S.A. Abiev¹, T.E. Darbayeva²¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan²Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan**Diversity of macromycetes in the black poplar forests of the Ural river valley**

Abstract. Research works devoted to the identification of species composition of the mycobiota of the Ural River valley within the West Kazakhstan region (WKR) were carried out in the forest communities of the region from 2019 to 2021. On the basis of field studies, a mycological description of black poplar (*Populus nigra*) forests, which are the main forest-forming species of the studied territory, was carried out for the first time. Also, there was carried out a geobotanical description of the main black poplar communities. The study area is located within two botanical and geographical regions such as in the Eurasian steppe and Saharo - Gobi desert zones, the Holarctic kingdom, on the border of the Boreal and Ancient Mediterranean subkingdoms. Throughout the floodplain along the Ural River poplar forests are the dominant species. When studying the diversity of macromycetes in the biota of cap fungi of black poplar forests, there were registered 42 species of macromycetes belonging to 32 genera and 19 families, 7 orders of the class Agaricomycetes. Ecological-trophic analysis showed a

predominance of xylotrophs (18 species, 42,9 %) and humus saprotrophs (13 species, 31 %) over mycorrhizal (11 species, 26,1 %).) According to the results of the study, it can be assumed that the species composition of macromycetes is significantly influenced by the geographical position of the region, the geomorphological structure of the Ural River, as well as the soil-climatic and hydrological conditions of the region.

The taxonomic composition of macromycetes collected and identified in the study area is presented for the first time for this area.

Keywords: black poplar forests, river valley, macromycete, biodiversity, Ural river.

References

1. Halme P., Kotiaho J. S. The importance of timing and number of surveys in fungal biodiversity research, *Biodiversity and Conservation*, 21(1), 205-219(2012).
2. Heilmann-Clausen J. et al. A fungal perspective on conservation biology, *Conservation biology*, 29(1), 61-68 (2015).
3. Blackwell M., Vega F.E. Lives within lives: hidden fungal biodiversity and the importance of conservation, *Fungal Ecology*, 35, 127-134 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>.
4. He M.Q. et al. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota, *Fungal diversity*, 99(1), 105-367 (2019).
5. Tedersoo L. et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses, *Fungal diversity*, 90 (1), 135-159 (2018).
6. Iršėnaitė R. et al. Macromycetes and myxomycetes of Asveja Regional park (Lithuania), *Botanica Lithuanica*, 19 (1), 8-21 (2013).
7. Zervakis G.I., Dimou D., Polemis E. Fungal diversity and conservation in the Mediterranean area: Recent advances in the inventory of Greek macromycetes, *Mycologia balcanica*, 1, 31-34 (2004).
8. Zmitrovich I.V., Stoljarskaja M.V., Kalinovskaja N. I., Popov E.S. i dr. Makromicety Nizhne-Svirskogo zapovednika (annotirovannyj spisok vidov) [Macromycetes of Nizhne-Svirsky Reserve (Annotated checklist)] (Sankt-Peterburg: Svoe izdatel'stvo, 2015, 185 p.) [St. Petersburg: Own publishing house, 2015, 185 p.]. [in Russian]
9. Zhang Y. et al. Exploring the species diversity of edible mushrooms in Yunnan, Southwestern China, by DNA barcoding, *Journal of Fungi*, 7(4), 310 (2021). DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7040310>.
10. Caiafa M.V. et al. Functional diversity of macromycete communities along an environmental gradient in a Mexican seasonally dry tropical forest, *Fungal Ecology*, 28, 66-75 (2017).
11. Lonsdale D., Pautasso M., Holdenrieder O. Wood-decaying fungi in the forest: conservation needs and management options, *European Journal of Forest Research*, 127(1), 1-22 (2008).
12. Lindahl B., Boberg J. Distribution and function of litter basidiomycetes in coniferous forests. *British Mycological Society Symposia Series* (Academic Press, 2008. 183-196 p.).
13. Read D.J., Perez-Moreno J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems—a journey towards relevance? *New phytologist*, 157(3), 475-492 (2003).
14. Tedersoo L., May T. W., Smith M. E. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages, *Mycorrhiza*, 20(4), 217-263 (2010). DOI: [10.1007/s00572-009-0274-x](https://doi.org/10.1007/s00572-009-0274-x).
15. Jones M.D.M., Richards T.A. 3 Environmental DNA Analysis and the Expansion of the Fungal Tree of Life. *Evolution of fungi and fungal-like organisms* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. 37-54 p.).
16. Rudolph S. et al. Temporal variation of fungal diversity in a mosaic landscape in Germany, *Studies in Mycology*, 89, 95-104 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.01.001>.

17. Hawksworth D.L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation, *Mycological research*, 95(6), 641-655 (1991). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80810-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80810-1).
18. Hawksworth D.L. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited, *Mycological research*, 105(12), 1422-1432 (2001). DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756201004725>.
19. Blackwell M. The Fungi: 1, 2, 3... 5.1 million species? *American journal of botany*, 98(3), 426-438 (2011). DOI: <https://doi.org/10.3732/AJB.1000298>.
20. Hawksworth D.L., Lücking R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. In: *The fungal kingdom*. ASM Journals. *Microbiology Spectrum*, 5(4), 79-95 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016>.
21. Falandysz J., Treu R. Fungi and environmental pollution, *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52(3), 147-147 (2017).
22. Abiev S.A., Darbayeva T.E, Sarsenova A.N. Batys Kazakstan oblysy mikobiotasynyn zerttelu tarihy [The history of the study of mycobiota in West Kazakhstan region] L.N. Gumilev atyndagy EYU Habarshysy [Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University], 3(136), 26-34 (2021). DOI: 10.32523/2616-7034-2021-136-3-26-34. [in Kazakh]
23. Batys Qazakstan oblysynyn Tabigi resurstar zhane tabigat pajdalanudy retteu basqarmasynyn resmi sajty. [Electronic resource] – Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/bko-zher-paidalanuy?lang=ru> (Accessed: 07.02.2022).
24. Index Fungorum Database. [Electronic resource] – Available at: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (Accessed: 10.02.2022).
25. IPNI. The International Plant Names Index. Author query. [Electronic resource] – Available at: <http://www.ipni.org/ipni/authorsearchpage.do> (Accessed: 10.02.2022).
26. Burova L.G. Ekologiya gribov makromicetov [Ecology of macromycetes] (Moskva: Ripol Klassik, 1986, 222 s.) [Moscow: Ripol Classic, 1986, 222 p.]. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Сарсенова А.Н. – жалпы биология және геномика кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан.

Абиев С.А. – биология ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан.

Дарбаева Т.Е. – биология ғылымдарының докторы, профессор, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғ. 162, Орал, Қазақстан.

Sarsenova A.N. – Ph.D. student of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Abiev S.A. – Doctor of Biological Sciences, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Darbayeva T.E. – Doctor of Biological Sciences, professor, Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, 162 N. Nazarbayev str., Uralsk, Kazakhstan.

Уран кенін өндіретін аймақтарда “топырақ-өсімдік” тізбегіндегі радионуклидтердің миграциясына баға беру (әдеби шолу)

Аңдатпа. Тау-кен өнеркәсібінің қызметі нәтижесінде белсенді мутагендік және канцерогендік әсері бар радионуклидтер мен химиялық заттар жер бетіне шығарылатыны белгілі. Әсіресе радиоактивті қалдықтар және де басқасол сияқты қайта өңдеу өнімдері ерекше қауіп төндіруі мүмкін. Осыған байланысты қалдықтарды сақтау орындарына және радионуклидтер мен ауыр металдардың қоршаған орта объектілерінде миграциялану дәрежесіне тұрақты мониторинг жүргізу қажеттілігі туындайды.

Бұл мақалада әдеби шолудың негізінде уран кен аймақтарындағы радионуклидтердің топырақ, өсімдіктегі мөлшерімен, олардың “топырақ-өсімдік” тізбегіндегі миграциясы туралы қазіргі заманғы мәліметтер қарастырылған.

Түйін сөздер: радионуклидтер, радионуклидтердің миграциясы, топырақ, өсімдік, уран кені.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-124-135

Кіріспе

Қазіргі таңда топырақтағы, құмдағы, судағы, тау жыныстарындағы, ауадағы және басқа да қоршаған орта объектілеріндегі радионуклидтердің мөлшерін анықтау жұмыстары іске асырылуда. Бұл жүргізілген зерттеулердің басым бөлігі қоршаған орта объектісі ретінде топырақ сынамаларын зерттеуге бағытталған. Қоршаған орта объектілерінің радиоактивтілігі негізінен ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs және тағы басқа радионуклидтерімен, олардың ыдырау өнімдерінің мөлшері бағаланады [1-2]. Топырақтың осы орайдағы ерекшелігі-ол радиоактивті материалдардың соңғы бағыты және оның ұзақ мерзімді рөлі радионуклидтерді жинақтау және сонымен бірге ауаның, судың, өсімдіктердің ластануында осы заттардың негізі көзі ретінде әсер етеді [3].

Топырақ сынамаларына жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде радионуклидтердің концентрациялары географиялық және геологиялық жағдайларға байланысты әр аймақта өзгереді [4]. Өртүрлі аймақтарда геологиялық жер қабатының ерекшелігі, уран, көмір, мұнай, газ, фосфат өндіру, сондай-ақ сейсмикалық жағдайлар және басқада табиғи құбылыстар топырақтағы техногенді радионуклидтердің және ауыр металдардың таралуын өзгерте алады [5]. Мысалы, Польша мен Канада топырақтарындағы уранның орташа концентрациясы сәйкесінше 0,79 мг/кг және 1,2 мг/кг құраса, Оралдағы сазды-шымтезекті топырақтардағы уранның концентрациясы 0,2-0,9 мг/кг болған [6]. Тау-кен өндірісінің өсуіне байланысты Қытайда уранның топырақтағы орташа мөлшері 19,62 мг/кг көрсеткен [7]. Ал Орталық Португалиядағы уран кенішінің айналасындағы топырақтағы уранның мөлшері 109,2 мг/кг болуына байланысты сол аймақта жоғары экологиялық қауіп төндіреді [8]. Сондықтан уран өндірісі орналасқан аймақтарда топырақ, өсімдік сынамаларындағы радионуклидтердің мөлшерін анықтау, олардың сол маңда тұратын тұрғылықты халыққа әсерін зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Талдау

Елімізде уран өндірісі соңғы 50 жыл ішінде белсенді түрде іске асуда. Уран кенін өндіру және қайта өңдеу екінші дүниежүзілік соғыстан кейін басталды. Кеңес дәуірінде уранның шамамен 30-40% Азия аймағында өндірілген деп есептелген [9,10].

Қазіргі таңда Қазақстан уран өндіруден әлемде бірінші орын алады. 2009 жылы ол әлемдік өндірістің шамамен 28%-ын құрайтын әлемдегі жетекші уран өндіруші елге айналды. 2020 жылы Қазақстан шамамен 19500 тонна уран өндіріп, әлемдік уран өндірісінің 41%-ы тиесілі болды [11].

Уран кен орындары геологиялық ерекшеліктерімен, орналасуы бойынша алты уран кенішіне енеді: Шу-Сарысу, Сырдария, Солтүстік Қазақстан, Каспий, Балқаш және Іле [12]. Уран өндірісінің кең ауқымы Оңтүстік Қазақстандағы Шу-Сарысу және Сырдария аумақтарында шоғырланған. Оңтүстік Қазақстанда орналасқан уран өндіретін төрт кен орны (Инкай, Қаратау, Оңтүстік Инкай, Харасан) әлемдегі ірі уран өндіретін кен орындары ондығының қатарында [13]. Қазақстан уран қорының 20% Сырдария уран кеніші аудандарына тиесілі. Сырдария уран кеніші аудандарындағы өндірістік орындарға Солтүстік және Оңтүстік Қарамұрын, Иркөл, Харасан, Заречное кен орындары жатады. Негізгі уран өндірісі уран кен орындарында жерасты сілтілендіру әдісімен жүргізілуде [14].

Уран өндіретін және өңдейтін кәсіпорындар мен олармен байланысты көп жылғы геологиялық барлау жұмыстары радиоактивті қалдықтардың қалыптастыруына әкелді [15].

Уранды өнеркәсіптік өндіру аймақтарында радиоэкологиялық жағдайды зерттеу кезінде қоршаған орта объектілеріндегі радионуклидтермен қатар, ауыр металдардың мөлшері де зерттеледі. Мысалы, Қытайда уран кеніші аймақтарында жүргізілген зерттеу жұмыстары кезінде сол аймақтан алынған топырақ сынамаларында радионуклидтердің мөлшері, сәйкесінше ^{238}U 25,81-9,58 Бк/кг; ^{226}Ra 24,85-2,77 Бк/кг; ^{232}Th 29,40-3,14 Бк/кг; ^{137}Cs 5,64-4,56 Бк/кг аралығында болса, ауыр металдардың мөлшері $\text{Pb} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Zn}$ тәртібінде кеміген [16]. Яғни топырақтағы радионуклидтердің мөлшерін анықтау арқылы оның радиоактивтілігіне баға беруге болады [17].

Топырақтың радиоактивтілігі сонымен қатар радионуклидтердің мөлшеріне ғана емес, олардың миграциясына және топырақта жинақталуына да байланысты болады. Мысалы, Моңғолия елінде уран кеніштері аймақтарында жүргізілген зерттеулер кезінде ^{226}Ra концентрациясы солтүстік және орталық аудандарда 19-30 Бк/кг, ал оңтүстік бөлігінде ^{226}Ra концентрациясы 26-3630 Бк/кг болса, ^{238}U мөлшері 100-1220 Бк/кг құраған. Бұл Моңғолиядағы басқа аймақтармен салыстырғанда жоғары мөлшерде болған. Сондай-ақ, радионуклидтердің мөлшері топырақтың төменгі қабаттарында жоғары болған, бұл топырақтың қасиеттерімен радионуклидтердің қозғалысына байланысты екендігін көрсетеді [18]. Белгілі бір аймақтың өзіндік ерекшеліктерімен, климаттық жағдайларына байланысты радионуклидтердің үш негізгі қозғалыс механизмі белгілі: 1) радионуклидтердің физика-химиялық ерекшеліктерімен, топырақтың сипаттамаларына байланысты радионуклидтердің топырақтағы тік миграциясы; 2) топырақ эрозиясымен агрегациясы нәтижесінде белгілі бір мөлшерінің азаюына әкелетін радионуклидтердің топырақтағы көлденең миграциясы; 3) топырақтың жоғары қабатындағы радионуклидтердің желмен қайта шашырауы. Радионуклидтердің қозғалыс механизмдерінен олардың жинақталуы мен миграциясы тек радионуклидтердің қасиеттеріне емес, сонымен қатар радионуклидтердің топырақпен өзара әрекеттесуіне байланысты екендігін көруге болады [19].

Радионуклидтердің топырақпен өзара әрекеттесуі және олардың миграциясы алдымен топырақтың морфологиялық қасиеттеріне байланысты. Мысалы, уран жер қыртысында орташа концентрациясы шамамен 2-3 мг/кг көлемінде топырақта және тау жыныстарында кездеседі. Ал магматикалық тау жыныстарында уранның жоғары көлемі анықталады. Сілтілі граниттерде уранның концентрациясы 100 г/т жетуі мүмкін. Карбонатты және кесекті жыныстарда уран мөлшері аз кездеседі, олардың орташа мәні кесекті жыныстар үшін 0,45-0,59 мг/кг, ал карбонатты

жыныстар үшін 2,2-2,5 мг/кг құрайды. Шөгінді жыныстардың ішінде уранның концентрациясы сазды жыныстарда жоғары, оның мөлшері 3-4 мг/кг дейін болады [20]. Уранның жоғары мөлшері сондай-ақ сулы-батпақты аймақтарда байқалады. Мысалы, Германиядағы бұрынғы уран өндірісінің қалдықтарымен ластанған сулы-батпақты аймақта шымтезекті топырақтардың құрамындағы уранның мөлшері 7500 мг/кг дейін жеткен [21].

Сонымен қатар, радионуклидтердің топырақтағы көлденең миграциясымен қатар, қазіргі кезде олардың «топырақ-өсімдік» тізбегіндегі миграциясын зерттеу маңызды. Өсімдіктер белгілі бір аумаққа тән әсер ету кешенін бағалауға мүмкіндік беретін объект болып табылады. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде радионуклидтермен бірқатар ауыр металдардың (Mn, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb) өсімдіктерге жапырақ, тамыр арқылы сіңіріліп, әртүрлі жеуге жарамды бөліктерінде жиналып және адам ағзасына тамақпен тұтынудан кейін ішкі сәулеленудің үздіксіз мөлшеріне әкелетіндігі анықталған [22]. Халықтың денсаулығына қауіп-қатер мен зиянды әсер ету дәрежесін анықтау үшін күн сайын пайдаланылатын тамақ өнімдерінде осы радионуклидтерге нақты бағалау жүргізілу қажет. Соңғы жылдары қоршаған ортадағы радионуклидтердің және олардың биологиялық объектілер үшін рөлін зерттеу жұмыстары, олардың адамдарға азық-түлік тізбегі арқылы ену жолдары қарастырылады [23].

Әлем бойынша уран өндіретін аймақтарда: Австралия, Германия, Канада, Америка Құрама Штаттары, Бразилия, Португалия, Қытай сияқты елдерде радиоэкологиялық жағдайды бағалауда жасалған зерттеу жұмыстарында топырақ, су, шөгінділердегі радионуклидтердің мөлшерімен, олардың түрлі ауыл шаруашылығы өнімдерінде жинақталуы зерттелінген (кесте 1).

Кесте 1

Уран кен орындары аймақтарындағы радионуклидтердің өсімдік түрлеріндегі салыстырмалы мөлшері (Бк/кг)

Мемлекет	Сынама үлгілері	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	Әдебиет
Қытай	өсімдіктер: шай жапырақтары (<i>Camellia sinensis</i>); картоп жапырақтары (<i>Ipomoea batatas</i>); күріш (<i>Oryza sativa</i>); шпинат (<i>Ipomoea aquatica</i>); орамжапырақтар (<i>Brassica rapa</i>)		<0.1-1.0	0.5-8.0	<31.4-150		[24]
Австралия	көкөністер: <i>Buchanania obovata</i> ; <i>Persoonia falcata</i> ; <i>Vitex accuminata</i> ; <i>Syzygiumeucalyptoides</i> ; <i>Terminalia ferdinandiana</i> ; <i>Ficus racemosa</i> ; жемістер: <i>Dioscorea transversa</i> ; <i>Vigna lanceolate</i> ; <i>Cartonemapariflorum</i> ; <i>Brachystelma glabriflorum</i> ;	<0.03-0.28	<0.004-0.12	0.18-70.5	0.042-11	0.12-1.83	[25]

Германия	саңырауқұлақтар: <i>Boletus species, Suillus species, Xerocomos species, Leccinum species, Lepiota species, Agaricus species; Lycoperda species</i>	0.01-25,9		0,03-51,2	0,06-28,9	0,10-64,0	[26]
----------	---	-----------	--	-----------	-----------	-----------	------

Кейбір ғалымдардың зерттеу нәтижесінде алынған сынамалардың ішінде сол ортаға тән өсімдіктердің тамырларымен, ауыл шаруашылығы өнімдерінің ішінде қырыққабаттың радионуклидтерді топырақтан сіңіру қабілеті жоғары екендігін көрсеткен [27].

Қазақстандағы зерттеулердің басым көпшілігі де, Ақмола облысындағы 30-дан астам уран кен орындарын қамтитын Солтүстік Қазақстан уран кенішінің қоршаған ортаға тигізетін әсерін бағалауға арналған. Сондай жұмыстардың бірінде аймақтағы радионуклидтермен ауыр металдардың «топырақ-өсімдік-жануарлар-ауыл шаруашылық өнімдері» тізбегіндегі миграциясын зерттеген. Зерттеу нәтижесінде радиоактивті ластанған аймақтардан алынған топырақ сынамаларында ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb радионуклидтерінің белсенділігі бақылау топтарынан 10-31 есе, ал As, Co, Ni, Zn, Cd, Cu, Sn ауыр металдарының концентрациясы жалпы-санитарлы нормадан сәйкесінше 161; 4; 25; 9; 18; 33; 42 есе жоғары болған. Сол аймаққа тән түрлі шөптесін өсімдіктерден алынған сынамаларда ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po мөлшері бақылау топтарынан сәйкесінше 15; 155; 54; 5; 9 есе, ал As, Pb, Co, Ni, Cu, Cd ауыр металдары 2-35 есе жоғары болған [28].

Оңтүстік Қазақстанда уран өндірудің қоршаған ортаға әсерін бағалау жұмыстары Қордай уран кенішінде жүргізілген. Зерттеу нәтижесінде радионуклидтердің қоршаған орта объектілерінің ішінде топырақ және шөгінділердің сынамаларында көптеп кездескендігін анықтаған. Сондай-ақ, зерттеу кезінде аймақтағы доминантты өсімдіктермен (*Patrinia intermedies*, *Elytrigia repens* L., *Althaca officinalis*), су асты мүктерінен әрі қарай зерттеуге үлгілер жинақталған. Алынған үлгілерден ^{238}U концентрациясының максималды деңгейі *P.intermedies*, *E. repens* L, су асты мүктерінен анықталған, олар сәйкесіншесынамасалмағының 3; 0,5; 500 Бк/кг құраған, ал ^{226}Ra концентрация деңгейлері сәйкесінше 21;18;130 Бк/кг, As үшін тиісті деңгейлері 0,2; 0,05; 2 мг/кг болған. Сондай-ақ, *Patrinia intermedies* өсімдігінің әртүрлі бөліктеріндегі (тамыр, сабақ, жапырақ) радионуклидтер мен микроэлементтер мөлшерін салыстыра келе, олардың тамырда жоғары екендігі көрсетілген [29].

Осыған ұқсас зерттеу жұмыстары Португалияда бұрынғы уран кен орнында жүргізілген. Зерттеу кезінде топырақ пен судағы, сол ортаға тән жер үсті және су асты өсімдіктерінің құрамындағы радионуклидтердің мөлшері анықталған. Уранның концентрациясы топырақ үшін 7,5–557 мг/кг және су сынамалары үшін 0,4–113 мкг/л аралығында болған. Уранның көп мөлшерде жинақталуы жер үсті өсімдіктерінің тамырларында тіркелген: *Juncus squarrosus* (450 мг/кг), *Carlina corymbosa* (181 мг/кг) және *Juncus bufonius* (39,9 мг/кг), ал су асты өсімдіктерінде: *Callitriche stagnalis* (55,6 мг/кг) *Lemna minor* (53,0 мг/кг) және *Riccia fluitans* (50,6 мг/кг). Зерттеу нәтижесінде жер үсті өсімдіктерінің тамырларында радионуклидтердің мөлшерінің жоғары болғанын көрсетеді [30].

Радионуклидтердің өсімдіктердің тамыр бөлігінде көп кездесуі, радионуклидтердің топырақтың жоғары қабатында болу уақытына байланысты. Радионуклидтердің топырақта баяу қозғалуы және миграция жылдамдығының төмен болуы радионуклидтердің өсімдіктердің тамыр аймағында ұзақ болуына әкеледі, сондықтан радионуклидтердің өсімдікке сіңу ықтималдығын арттырады [31].

Алайда, кейбір аймақтарда топырақтың түрімен, сол аймақтың климаттық факторларына байланысты радионуклидтердің мөлшері өсімдіктердің тамырында емес, жер үсті бөліктерінде жоғары болуы мүмкін. Мысалы, Ақтау қаласындағы бұрынғы екі уран кенішімен уран өңдеу

зауытының іргелес аудандарға тигізетін радиоэкологиялық әсерін зерттеу жұмыстары кезінде өсімдік үлгілеріндегі ^{238}U , ^{232}Th мөлшерін анықтап, оларды ластанбаған жерлерден алынған сол өсімдік түріндегі (*Artemisia austriaca*) үлгілермен салыстырған. Нәтижесінде бақылау аймағынан алынған өсімдіктердің сынамаларында радионуклидтердің мөлшері жапырақтарымен тамырында көп кездесе, зерттеу аймағындағы өсімдіктерде олардың мөлшері жапырақтарымен сабақтарында жоғары болған. Бұл зерттелген аймақтың климаттық факторларына байланысты тамыр жүйесінің нашар жетілудінен радионуклидтердің тамырда аз мөлшерде болғанын, алайда шаңды желдердің әсерінен радионуклидтер өсімдіктердің жер үсті бөліктерінде көптеп кездескенін көрсетті [32].

Радионуклидтердің топырақтан өсімдіктерге миграциясы өсімдіктің тамыр жүйесіне, минералды сіңіругіне, калий, кальций және басқа да қоректік заттарға қажеттілігіне де байланысты болады [33].

Жалпы алғанда, өсімдіктердің топырақтан радионуклидтермен ауыр металдарды сіңіруі қоршаған ортаның факторларына: топырақтың құрылымы мен химиялық қасиеттеріне, рН, ылғалдылығына, органикалық заттардың құрамына, ион алмасу қабілетіне және радионуклидтердің концентрациясына және т.б. байланысты [34]. Мысалы, Сібірде жүргізілген зерттеулерден радионуклидтердің орманды, бұталы және шөпті өсімдіктермен жинақталуы, әсіресе күлгін топыраққа қарағанда, шымды күлгін топырақта жинақталу мөлшерінен жоғары екенін анықтаған [35].

Елімізде жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижесінде топырақтағы радионуклидтердің жинақталуы және олардың миграциясы- топырақтың негізгі көрсеткіштеріне және де зерттелетін аймақтың метеорологиялық, гидрологиялық жағдайларына байланысты өзгертіндігін көрсетті [36]. Өсімдіктерді суғаратын судың, жауын-шашынның мөлшері, топырақты өңдеу процестері, жер асты сулары өсімдіктердің құрамындағы радионуклидтердің мөлшерін анықтайды [37].

Елімізде жүргізілген зерттеулердің басым көпшілігі техногенді ластанған аймақтарда, әсіресе бұрынғы Семей сынақ полигон аймақтарында жасанды радионуклидтердің өсімдіктерде жинақталуы деңгейі, сонымен қатар радиоактивті ластанудың өсімдіктердің морфо-анатомиялық құрылысына тигізген әсері бағаланған. Зерттеудің нәтижесінде ұзақ мерзімді созылмалы сәулеленудің әсерінен сабақтағы және жапырақтағы кейбір анатомиялық белгілердің өзгерісі-қоршаған ортаның техногендік ластануының көрсеткіші болуы мүмкінді көрсетілген [38].

2 кестеде радионуклидтердің топырақ, өсімдіктердегі концентрацияларын анықтап, радионуклидтердің топырақтан өсімдікке ауысу коэффициенттерін бағалау бағытындағы зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсетілген.

Кесте 2

Радионуклидтердің топырақтан өсімдіктерге ауысу коэффициенттері

Мемлекет	Сынама үлгілері	^{238}U	^{226}Ra	$^{232}\text{Th}/^{228}\text{R}$ a	^{137}Cs	Әдебиеттер
Қытай (уран кеніші)	Өсімдіктер: <i>Lupinus albus</i> , <i>Brassica chinensis</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Zea mays</i>	0.005- 0.037	0.006- 0.034	0.00013- 0.00214		[39]
Нигерия (тау-кенаудандары)	Өсімдік: <i>Manihot esculenta</i>	0.01- 0.90		0.006-1.54		[40]

Сирия	көкөніс дақылдары (жасыл бұрыш, қияр, қызанақ, баклажан), бұршақ дақылдары (жасымық, бұршақ), жеміс ағаштары (алма, жүзім, зәйтүн), дәнді дақылдар (арпа, бидай)	0.003-0.12	0.008			[41]
Вьетнам (уран кеніші)	<i>A.auriculiformis</i>	0.006-0.380	0-0.344	0.017-0.655	0-3.433	[42]
Бангладеш	Өсімдіктер: <i>Acalypha indica</i> , <i>Vasopa tonniera</i> , <i>Lantana camara</i> , <i>Solanum nigrum</i> , <i>Synedrella nodiflora</i>		0.045-0.070	0.064-0.108	0.04-0.075	[43]

Қорытынды

Келтірілген әдеби шолудың нәтижелері радионуклидтер мен ауыр металдардың мөлшерінің жоғары болуын, олардың өсімдіктерде әртүрлі деңгейде таратылатынын көрсетеді. Уран өндірісі аймағында тұратын халық үшін ішкі сәулеленудің әсерін болжау мақсатында радионуклидтердің топырақ, өсімдіктегі мөлшерін анықтау, олардың ары қарай тасымалдану деңгейіне баға беру маңызды.

Қаржыландыру. Ғылыми жұмыс «Сырдария уран рудасы провинциясының қоршаған ортасы мен тұрғындарының денсаулығы үшін негативті техногендік қауіп фактораларын нивелирлеу әдістерін әзірлеу» (2021-2023) атты ғылыми-техникалық жобасы аясында жүргізілді (тапсырыс беруші ҚР Білім және ғылым министрілігінің ғылым комитеті ИРН АР09261243).

Әдебиеттер тізімі

1. Jananee B., Rajalakshmi A., Thangam V., Manikanda Bharath K., Sathish V. Natural radioactivity in soils of Elephant hills, Tamilnadu, India // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2021. – Vol. 329. – P.1 261-268.
2. Ahmed R.S. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy // Environmental Forensics. – 2020. – Vol. 22. – P. 1-8.
3. Jebur J.H., Ismail Al-Sudani Z.A., Fleifil S.S. Measure the rate of Radiation Activity in Soil sample from the depth of Sindbad land in Basrah Governorate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Iraq, 2019.
4. Rasha S.A. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy // Environmental Forensics. – 2021. – Vol. 22. –P. 91-98.
5. Vaiserman A.M. Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment // Dose Response. – 2010. –Vol. 8. – P. 172-191.

6. Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review // Eurasian Soil Science. – 2011. – Vol. 44. – P. 862-873.
7. Li R., Dong F., Yang G., Zhang W., Zong M., Nie X., Zhou L., Babar A., Liu J.F., Ram B.K., Fan C.J., Zeng Y. Characterization of arsenic and uranium pollution surrounding a uranium mine in southwestern China and phytoremediation potential// Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Vol. 29. – P. 173-185.
8. Antunes S.C., Castro B.B., Pereira R., Gonçalves F. Contribution for tier 1 of the ecological risk assessment of Cunha Baixa uranium mine (Central Portugal): II. Soil ecotoxicological screening // Science of the Total Environment. – 2008. – Vol. 390. – P. 387-395.
9. Stegnar P., Shishkov I., Burkitbayev M., Tolongutov B., Yunusov M., Radyuk R., Salbu B. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 123. – P. 3-13.
10. Salbu B. Preface: uranium mining legacy issue in Central Asia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 123. – P. 1-2.
11. World Nuclear Association website. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [Электронный ресурс] – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx/> (дата обращения: 15.02.2022).
12. Matveyeva I., Jacimović R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan) // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – Vol. 299. – P. 1399-1409.
13. World Nuclear Association website. Uranium Mining Overview. [Электронный ресурс] – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx> (дата обращения: 21.02.2022).
14. Tastenov A. Nuclear Industry in Kazakhstan: Prospects for Growth // KazEnergy. – 2010. – Vol. 6. – P. 90-92.
15. Шишков И.А., Каюков П.Г. Радиоэкологические проблемы Республики Казахстан, связанные с разведкой и разработкой месторождений урана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2013. – Т. 5, № 401. – С. 69-78.
16. Bai H., Hu B., Wang C., Bao S., Sai G., Xu X., Li Y. Assessment of Radioactive Materials and Heavy Metals in the Surface Soil around the Bayanwula Prospective Uranium Mining Area in China// International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14.
17. Mohebian M., Pourimani R. Specific activity and radiation hazard of radionuclides in wheat and bean produced near Shazand, Iran // Iranian Journal of Medical Physics. – 2020. – Vol. 17. – P. 394-400.
18. Omori Y., Sorimachi A., Gun-Aajav M., Enkhgerel N., Munkherdene G., Oyunbolor G., Yamada C. Gamma dose rate distribution in the Unegt subbasin, a uranium deposit area in Dornogobi Province, southeastern Mongolia // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – Vol. 26. – P. 33494-33506.
19. Aba A., Omar Al-Boloushi, Anfal Ismaeel, Salman Al-Tamimi. Migration behavior of radiostrontium and radiocesium in arid-region soil // Chemosphere. – 2021. – Vol. 281.
20. Missimer T.M., Teaf C., Maliva R.G., Danley-Thomson A., Covert D., Hegy M. Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of southern Florida with a discussion on potential health impacts // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16.
21. Schoner A., Noubactep C., Buchel G., Sauter M. Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention // Chemie Der Erde-Geochemistry. – 2009. – Vol. 69. – P. 91-107.

22. Pulhani V.A., Dafauti S., Hegde A.G., Sharma R. M., Mishra U.C. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2005. – Vol. 79. – P. 331-346.
23. Jazzar M.M., Thabayneh K.L. Transfer of Natural Radionuclides from Soil to Plants and Grass in the Western North of West Bank Environment- Palestine // *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. – 2014. – Vol. 2. – P. 252-258.
24. Yang B., Zhou Q., Zhang J., Li Z., Tuo F. Evaluation of the natural radioactivity in food and soil around uranium mining region // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 329. – P. 127-133.
25. Iles M. Uranium-series radionuclides in native fruits and vegetables of northern Australia // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2005. – Vol. 264. – P. 407-412.
26. Wichterey K., Sawallisch S. Naturally occurring radionuclides in mushrooms from uranium mining regions in Germany // *Radioprotection*. – 2002. – Vol. 37. – P. 353-358.
27. Banzi F.P., Msaki P.K., Mohammed N.K. Distribution of Heavy Metals in Soils in the Vicinity of the Proposed Mkuju Uranium Mine in Tanzania// *Environment and Pollution*. – 2015. – Vol. 4. – P. 42-50.
28. Имашева Б.С., Казымбет П.К. Миграция естественных радионуклидов и тяжелых металлов в системе: почва-растение-животные-продукция сельского хозяйства. – Научные труды Института радиобиологии и радиационной защиты АО «Медицинский университет Астана»: Астана, 2014. – 296 с.
29. Salbu B., Burkitbaev M., Strømman G., Shishkov I., Kayukov P., Uralbekov B., Rosseland B.O. Environmental impact assessment of radionuclides and trace elements at the Kurday U mining site, Kazakhstan // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – Vol. 123. – P.14-27.
30. Favas P.J.C., Pratas J., Mitra S., Sarkar S.K., Venkatachalam P. Biogeochemistry of uranium in the soil-plant and water-plant systems in an old uranium mine // *Science of The Total Environment*. – 2016. – Vol. 568. – P. 350-368.
31. Khandaker M.U., Mohd Nasir N.L., Asaduzzaman K., Olatunji M.A., Amin Y.M., Kassim H.A., Bradley D.A., Jojo P.J., Alrefae T. Evaluation of radionuclides transfer from soil-to-edible flora and estimation of radiological dose to the Malaysian populace // *Chemosphere*. – 2016. –Vol. 154. – P. 528-536.
32. Zoriy P., Ostapczuk P., Dederichs H., Hobig J., Lennartz R., Zoriy M. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan. *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2010. – Vol. 101. – P. 414-420.
33. Коровина А.А. Модель миграции радионуклидов в системе почва-растения-животные. [Электронный ресурс] – URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/201801465> (дата обращения: 05.03.2022).
34. Sotiropoulou M., Florou H. Measurement and calculation of radionuclide concentration ratios from soil to grass in semi-natural terrestrial habitats in Greece // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2021. – Vol. 237.
35. Shvetsov S.G., Voronin V.I. Distribution of Uranium and Thorium in Soil and Woody Plants of Eastern Siberia (Irkutsk Region) // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. – 2019. – Vol. 12. – P. 86-100.
36. Аскарлова Г.Ш., Наренова С.М., Нурмаханова Д.М., Асанова Г.Ж. Оценка воздействия урановой промышленности на экологическое состояние почвы // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – Vol. 2. – P. 603-606
37. Fahd A.A., Shahab R.M., Wannas A.H., Ahmed H. El-D., Mohamed A.A., Mahmoud M.Sh. Study of the movement and transfer of depleted uranium in the soil of the southern regions of Iraq // *Conference on the effects of the use of depleted uranium on humans and the environment in Iraq*.

– Baghdad, 2002. – P. 26-27.

38. Айдосова С.С., Ахтаева Н.З., Ахметова А.Б. Морфо-анатомическая структура и адаптационные признаки растений в условиях техногенного загрязнения. – Алматы: Қазақ университеті, 2012. – 208 с.

39. Chen S.B., Zhu Y.G., Hu Q.H. Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on a uranium mining-impacted soil from southeastern China // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol. 82. – P. 223-236.

40. Adesiji N.E., Ademola, J.A. Soil-to-cassava plant transfer factor of natural radionuclides on a mining impacted soil in a tropical ecosystem of Nigeria // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – Vol. 201. – P. 1-4.

41. Al-Masri M.S., Al-Akel B., Nashawani A., Amin Y., Khalifa K.H., Al-Ain F. Transfer of ⁴⁰K, ²³⁸U, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po from soil to plant in various locations in south of Syria // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – Vol. 99. – P. 322-331.

42. Duong V.H., Nguyen T.D., Kocsis E., Csordas A., Hegedus M., Kovacs T. Transfer of radionuclides from soil to *Acacia auriculiformis* trees in high radioactive background areas in North Vietnam // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 229-230.

43. Chakraborty S.R., Azim R., Rahman A.R., Sarker R. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh // Journal of Physical Sciences. – 2013. – Vol. 24. – P. 95-113.

Э.М. Мусаева, М.М. Бахтин

*НАО «Медицинский университет Астана», Институт радиобиологии и радиационной защиты,
Астана, Казахстан*

Оценка миграции радионуклидов в цепи «почва-растение»-уранодобывающих регионов (литературный обзор)

Аннотация. Известно, что в результате деятельности горнодобывающей промышленности на поверхность могут быть извлечены радионуклиды и химические вещества, обладающие активным мутагенным и канцерогенным действием. Особую опасность могут представлять продукты утилизации, такие как радиоактивные отходы и другие. В связи с этим возникает необходимость в регулярном мониторинге мест хранения таких отходов и степени миграции радионуклидов и тяжелых металлов в объектах окружающей среды.

В данной обзорной статье рассматриваются современные данные по исследованию степени миграции радионуклидов в цепи «почва-растение» в уранодобывающих регионах.

Ключевые слова: радионуклиды, миграция радионуклидов, почва, растение, урановая руда.

E.M. Mussayeva, M.M. Bakhtin

Astana Medical University, Institute of radiobiology and Radiation Protection, Astana, Kazakhstan

Assessment of radionuclides in the "soil-plant" chain of uranium mining regions (literature review)

Abstract. It is well known that as a result of the activities of the mining industry, radionuclides and chemicals with active mutagenic and carcinogenic effects can be extracted to the surface. Disposal products, such as radioactive waste and others, may cause particular danger. In this regard, this requires regular monitoring of radioactive waste storage sites and the degree of migration of radionuclides and heavy metals in environmental objects.

This review article considers the uranium ore region's current data for the content of radionuclides in soil, vegetation, and their migration in the "soil-plant" chain.

Keywords: radionuclides, migration of radionuclides, soil, plant, uranium ore.

References

1. Jananee B., Rajalakshmi A., Thangam V., Manikanda Bharath K., Sathish V. Natural radioactivity in soils of Elephant hills, Tamilnadu, India, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329, 1261-1268 (2021).
2. Ahmed R.S. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy, *Environmental Forensics*, 22, 1-8 (2020).
3. Jebur J.H., Ismail Al-Sudani Z.A., Fleifil S.S. Measure the rate of Radiation Activity in Soil sample from the depth of Sindbad land in Basrah Governorate, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Iraq* (2019).
4. Rasha S.A. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy, *Environmental Forensics*, 22, 91-98 (2021).
5. Vaiserman A.M. Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment, *Dose Response*, 8, 172-191 (2010).
6. Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review, *Eurasian Soil Science*, 44, 862-873 (2011).
7. Li R., Dong F., Yang G., Zhang W., Zong M., Nie X., Zhou L., Babar A., Liu J.F., Ram B.K., Fan C.J., Zeng Y. Characterization of arsenic and uranium pollution surrounding a uranium mine in southwestern China and phytoremediation potential, *Polish Journal of Environmental Studies*, 29, 173-185 (2020).
8. Antunes S.C., Castro B.B., Pereira R., Gonçalves F. Contribution for tier 1 of the ecological risk assessment of Cunha Baixa uranium mine (Central Portugal): II. Soil ecotoxicological screening, *Science of the Total Environment*, 390, 387-395 (2008).
9. Stegnar P., Shishkov I., Burkitbayev M., Tolongutov B., Yunusov M., Radyuk R., Salbu B. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 3-13 (2013).
10. Salbu B. Preface: uranium mining legacy issue in Central Asia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 1-2 (2013).
11. World Nuclear Association website. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [Electronic resource] – Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx> (Accessed: 15.02.2022).
12. Matveyeva I., Jacimović R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan), *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299, 1399-1409 (2014).
13. World Nuclear Association website. Uranium Mining Overview. [Electronic resource] – Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx> (Accessed: 21.02.2022).
14. Tastenov A. Nuclear Industry in Kazakhstan: Prospects for Growth, *KazEnergy*, 6, 90-92 (2010).
15. SHishkov I.A., Kayukov P.G. Radioekologicheskie problemy Respubliki Kazahstan, svyazannye s razvedkoj i razrabotkoj mestorozhdenij urana, *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk* [Radioecological problems of the Republic of Kazakhstan related to the exploration and development of uranium deposits, *News of NAS RK. Series of geology and technical sciences*], 5, 69-78 (2013). [in Russian]

16. Bai H., Hu B., Wang C., Bao S., Sai G., Xu X., Li Y. Assessment of Radioactive Materials and Heavy Metals in the Surface Soil around the Bayanwula Prospective Uranium Mining Area in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (2017).
17. Mohebian M., Pourimani R. Specific activity and radiation hazard of radionuclides in wheat and bean produced near Shazand, Iran, *Iranian Journal of Medical Physics*, 17, 394-400 (2020).
18. Omori Y., Sorimachi A., Gun-Aajav M., Enkhgerel N., Munkherdene G., Oyunbolor G., Yamada C. Gamma dose rate distribution in the Unegt subbasin, a uranium deposit area in Dornogobi Province, southeastern Mongolia, *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 33494-33506 (2019).
19. Aba A., Omar Al-Boloushi, Anfal Ismaeel, Salman Al-Tamimi. Migration behavior of radiostrontium and radiocesium in arid-region soil, *Chemosphere*, 281 (2021).
20. Missimer T.M., Teaf C., Maliva R.G., Danley-Thomson A., Covert D., Hegy M. Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of southern Florida with a discussion on potential health impacts, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (2019).
21. Schoner A., Noubactep C., Buchel G., Sauter M. Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention, *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 69, 91-107 (2009).
22. Pulhani V.A., Dafauti S., Hegde A.G., Sharma R. M., Mishra U.C. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331-346 (2005).
23. Jazzar M.M., Thabayneh K.L. Transfer of Natural Radionuclides from Soil to Plants and Grass in the Western North of West Bank Environment- Palestine, *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2, 252-258 (2014).
24. Yang B., Zhou Q., Zhang J., Li Z., Tuo F. Evaluation of the natural radioactivity in food and soil around uranium mining region, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329, 127-133 (2021).
25. Iles M. Uranium-series radionuclides in native fruits and vegetables of northern Australia, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 264, 407-412 (2005).
26. Wichterey K., Sawallisch S. Naturally occurring radionuclides in mushrooms from uranium mining regions in Germany, *Radioprotection*, 37, 353-358 (2002).
27. Banzi F.P., Msaki P.K., Mohammed N.K. Distribution of Heavy Metals in Soils in the Vicinity of the Proposed Mkuju Uranium Mine in Tanzania, *Environment and Pollution*, 4, 42-50 (2015).
28. Imasheva B.S., Kazymbet P.K. Migraciya estestvennyh radionuklidov i tyazhelyh metallov v sisteme: pochva-rastenie-zhivotnye-produkciya sel'skogo hozyajstva [Migration of natural radionuclides and heavy metals in the system: soil-plant-animals agricultural products] (Scientific works of the Institute of Radiobiology and Radiation Protection of JSC "Astana Medical University", Astana, 2014, 296 p.). [in Russian]
29. Salbu B., Burkitbaev M., Strømman G., Shishkov I., Kayukov P., Uralbekov B., Rosseland B.O. Environmental impact assessment of radionuclides and trace elements at the Kurday U mining site, Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 14-27 (2013).
30. Favas P.J.C., Pratas J., Mitra S., Sarkar S.K., Venkatachalam P. Biogeochemistry of uranium in the soil-plant and water-plant systems in an old uranium mine, *Science of The Total Environment*, 568, 350-368 (2016).
31. Khandaker M.U., Mohd Nasir N.L., Asaduzzaman K., Olatunji M.A., Amin Y.M., Kassim H.A., Bradley D.A., Jojo P.J., Alrefae T. Evaluation of radionuclides transfer from soil-to-edible flora and estimation of radiological dose to the Malaysian populace, *Chemosphere*, 154, 528-536 (2016).
32. Zoriy P., Ostapczuk P., Dederichs H., HobigJ., Lennartz R., Zoriy M. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 101, 414-420 (2010).

33. Korovina A.A. Model' migratsii radionuklidov v sisteme pochva-rasteniya-zhivotnye [Model of radionuclide migration in the soil-plants-animals system]. [Electronic resource] – Available at: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018014651/> (Accessed: 05.03.2022). [in Russian]
34. Sotiropoulou M., Florou H. Measurement and calculation of radionuclide concentration ratios from soil to grass in semi-natural terrestrial habitats in Greece, *Journal of Environmental Radioactivity*, 237 (2021).
35. Shvetsov S.G., Voronin V.I. Distribution of Uranium and Thorium in Soil and Woody Plants of Eastern Siberia (Irkutsk Region), *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 12, 86-100 (2019).
36. Askarova G.S.H., Narenova S.M., Nurmahanova D.M., Asanova G.Z.H. Ocenka vozdeystviya uranovoj promyshlennosti na ekologicheskoe sostoyanie pochvy, *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [Assessment of the impact of the uranium industry on the ecological state of the soil, *International Journal of Applied and Fundamental Research*], 2, 603-606 (2016). [in Russian]
37. Fahd A.A., Shahab R.M., Wannas A. H., Ahmed H. El-D., Mohamed A.A., Mahmoud M.Sh. Study of the movement and transfer of depleted uranium in the soil of the southern regions of Iraq, *Conference on the effects of the use of depleted uranium on humans and the environment in Iraq, Baghdad*, 26-27 (2002).
38. Ajdosova S.S., Ahtaeva N.Z., Ahmetova A.B. Morfo-anatomicheskaya struktura i adaptatsionnye priznaki rastenij v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya [Morpho-anatomical structure and adaptive characteristics of plants in conditions of technogenic pollution] (*Kazakh universiteti*, 2012, 208 s.) [Kazakh university, Almaty, 2012, 208 p.]. [in Russian]
39. Chen S.B., Zhu Y.G., Hu Q.H. Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on a uranium mining-impacted soil from southeastern China, *Journal of Environmental Radioactivity*, 82, 223-236 (2005).
40. Adesiji N.E., Ademola, J.A. Soil-to-cassava plant transfer factor of natural radionuclides on a mining impacted soil in a tropical ecosystem of Nigeria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 201, 1-4 (2019).
41. Al-Masri M.S., Al-Akel B., Nashawani A., Amin Y., Khalifa K.H., Al-Ain F. Transfer of ⁴⁰K, ²³⁸U, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po from soil to plant in various locations in south of Syria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 322-331 (2008).
42. Duong V.H., Nguyen T.D., Kocsis E., Csordas A., Hegedus M., Kovacs T. Transfer of radionuclides from soil to *Acacia auriculiformis* trees in high radioactive background areas in North Vietnam, *Journal of Environmental Radioactivity*, 229-230 (2021).
43. Chakraborty S.R., Azim R., Rahman A.R., Sarker R. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh, *Journal of Physical Sciences*, 24, 95-113 (2013).

Авторлар туралы мәлімет:

Мусаева Э.М. – магистрант, Радиобиология және радиациялық қорғау институты, «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан.

Бахтин М.М. – б.ғ.д., профессор, директор, Радиобиология және радиациялық қорғау институты, «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан.

Mussayeva E.M. – master's student, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.

Bakhtin M.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.

Редакторы: **Р.І. Берсімбай**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulbio.enu.kz/>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Биологиялық ғылымдар сериясы.
- 1(142)/2023 - Астана: ЕҰУ. - 136 б.
Шартты б.т. – 8,5. Таралымы - 8 дана.
Басуға қол қойылды: 27.03.2023
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulbio.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды