

ISSN (Print) 2616-6771  
ISSN (Online) 2617-9962

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**  
**BULLETIN** **ВЕСТНИК**

of L.N. Gumilyov  
Eurasian National University

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ХИМИЯ. ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЯ сериясы**

**CHEMISTRY. GEOGRAPHY. ECOLOGY Series**

**Серия ХИМИЯ. ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЯ**

**№ 4(149)/2024**

**1995 жылдан бастап шығады**

**Founded in 1995**

**Издается с 1995 года**

**Жылына 4 рет шығады**

**Published 4 times a year**

**Выходит 4 раза в год**

Астана, 2024

Astana, 2024

**Редакция алқасы: Бас редактор (химия): Копишев Э.Е.**  
х.ғ.к., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Бас редактор (география): Рамазанова Н.Е.**  
PhD, қауымдас. проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Бас редактор (экология): Берденов Ж.Г.**  
PhD, қауымдас. проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Жауапты хатшы: Уали А.С.**  
х.ғ.к., қауымдас. проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Редакция алқасы:**  
**Химия**

**Адекенов С.М.** х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі, Фитохимия халықаралық ғылыми-өндірістік холдингі, Қарағанды, Қазақстан

**Айбұльдинов Е.К.** PhD, Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Амерханова Ш.К.** х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Бакибаев А.А.** х.ғ.д., проф., Томск Политехникалық Университеті, Томск, Ресей

**Байкенов М.** х.ғ.д., проф., Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

**Джакупова Ж.Е.** х.ғ.к., доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Еркасов Р.Ш.** х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Маскевич А.А.** ф.-м.ғ.д., проф., Я.Купала мемлекеттік университеті, Гродно, Беларусь

**Мустафин Р.И.** PhD, доцент., Қазан Мемлекеттік Медициналық Университеті, Қазан, Ресей

**Султанова Н.А.** х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Филиппов С.К.** PhD, Або Академия университеті, Турку, Финляндия

**Хуторянский В.В.** PhD, проф., Рединг Университеті, Біріккен Корольдік

**Шатрук М.** PhD, проф., Флорида Мемлекеттік Университеті, Талахасси, АҚШ

**География**

**Атасой Е.** Phd, проф., Бурса-Улудаг Университеті, Бурса, Турция

**Джаналеева К.М.** г.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Сапаров К.Т.** г.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Саипов А.А.** п.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

- Озгелдинова Ж.О.** PhD, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Жангужина А.А.** PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Дунец А.Н.** г.ғ.д., проф., Алтай мемлекеттік университеті, Барнаул, Ресей
- Самарханов К.Б.** г.ғ.к., «Астана» халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан
- Иржи Хлахула** PhD, проф., А.Мицкевич Университеті, Познань, Польша
- Останин О.В.** г.ғ.к., доцент, Алтай мемлекеттік университеті, Барнаул, Ресей
- Абдиманапов Б.Ш.** г.ғ.д., проф., Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан
- Алагуджаева М.А.** PhD, «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК АҚ, Астана, Қазақстан

### **Экология**

- Сафаров Р.З.** х.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Саспугаева Г.Е.** PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Инкарова Ж.И.** б.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Зандыбай А.** б.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Илеш А.** PhD, проф., Орадя университеті, Орадя, Румыния
- Ян А. Вент** Хабилит. докторы, проф., Гданьск университеті, Гданьск, Польша
- Мендыбаев Е.Х.** б.ғ.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Жамангара А.К.** б.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
- Ахмеденов К.М.** г.ғ.к., проф., М. Өтемісұлы атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

**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 33-207). **E-mail:** vest\_chem@enu.kz  
**Техникалық хатшы:** Әділбектегі Гүлмира Әділбекқызы

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы**

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 02.02.2021 ж. № KZ81VPY00031939 тіркеу куәлігімен тіркелген

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 33-207). Сайт: <http://bulchmed.enu.kz>

**Editorial board: Editor-in-Chief (Chemistry): Kopsishev E.E.**  
*Cand.Chem.Sci., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**Editor-in-Chief (Geography): Ramazanova N.E.**  
*PhD, Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**Editor-in-Chief (Ecology): Berdenov Zh.G.**  
*PhD, Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**Executive Secretary: Uali A.S.**  
*Cand.Chem.Sci., Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

#### **Editorial board Chemistry**

**Adekenov S.M.** Dr.Chem.Sci., Prof., Academician of NAS RK, International Research & Production Holding Phytochemistry, Karaganda, Kazakhstan

**Aibuldinov E.K.** PhD, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Amerkhanova Sh.K.** Dr.Chem.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Bakibayev A.A.** Dr.Chem.Sci., Prof., Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

**Baikenov M.I.** Dr.Chem.Sci., Prof., Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

**Jakupova Zh.E.** Cand.Chem.Sci., Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Erkassov R.Sh.** Dr.Chem.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Maskevich A.A.** Dr.Phys.-Math.Sci., Prof., Ya. Kupala State University, Grodno, Belarus

**Mustafin R.I.** PhD, Assoc.Prof., Kazan State Medical University, Kazan, Russia

**Sultanova N.A.** Dr.Chem.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Filippov S.K.** PhD, Prof., Abo Akademi University, Turku, Finland

**Khutoryanskiy V.V.** PhD, Prof., University of Reading, United Kingdom

**Shatruk M.** PhD, Prof., Florida State University, Tallahassee, USA

#### **Geography**

**Atasoy E.** Phd, Prof., Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye

**Dzhanaleyeva K.M.** Dr.Geogr.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Saparov K.T.** Dr.Geogr.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Saipov A.A.** Dr.Ped.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Ozgeldinova Zh.** PhD, Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan



- Zhanguzhina A.A.** PhD, acting Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Dunetc A.N.** Dr.Geogr.Sci., Prof., Altai State University, Barnaul, Russia
- Samarkhanov K.B.** Cand.Geogr.Sci., International Science Complex «Astana», Astana, Kazakhstan
- Jiří Hlahula** PhD, Prof., A. Mickiewicz University, Poznan, Poland
- Ostanin O.V.** Cand.Geogr.Sci., Assoc.Prof., Altai State University, Barnaul, Russia
- Abdimanapov B.Sh.** Dr.Geogr.Sci., Prof., Abay Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
- Alagudzhaeva M.A.** PhD, JSC NC "Kazakhstan Garysh Sapary", Astana, Kazakhstan

### **Ecology**

- Safarov R.Z.** Cand.Chem.Sci., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Saspugayeva G.E.** PhD, Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Inkarova J.I.** Cand.Biol.Sci., Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Zandybai A.** Cand.Biol.Sci., Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Ilesh A.** PhD, Prof., University of Oradea, Oradea, Romania
- Jan A. Wendt** Dr.habil., Prof., Gdansk University, Poland
- Mendibaev E.Kh.** Cand.Biol.Sci., Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Zhamangara A.K.** Cand.Biol.Sci., Assoc.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
- Akhmedenov K.M.** Cand.Geogr.Sci., Prof., M. Otemiusly West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

**Editorial address:** 2, Satpayev str., of. 402,  
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008  
**Tel.:** +7 (7172) 709-500 (ext. 33-207), **E-mail:** vest\_chem@enu.kz  
**Technical secretary:** Adilbektegi Gulmira Adilbekkizi

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**Chemistry. Geography. Ecology 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

Registration certificate № KZ81VPY00031939 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. 33-207). Website: <http://bulchmed.enu.kz>

**Редакционная коллегия: Главный редактор (химия): Копишев Э.Е.**

к.х.н., Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

- Главный редактор (география): Рамазанова Н.Е.**  
*PhD, ассоц.проф., Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Казахстан*
- Главный редактор (экология): Берденов Ж.Г.**  
*PhD, ассоц.проф., Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Казахстан*
- Ответственный секретарь: Уали А.С.**  
*к.х.н., ассоц.проф., Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

**Редакционная коллегия:  
Химия**

- Адекенов С.М.** д.х.н., проф., академик НАН РК, Международный научно-производственный холдинг Фитохимия, Караганда, Казахстан
- Айбульдинов Е.К.** PhD, НИИ новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Амерханова Ш.К.** д.х.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Бакибаев А.А.** д.х.н., проф., Томский политехнический университет, Томск, Россия
- Байкенов М.И.** д.х.н., проф., Карагандинский университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан
- Джакупова Ж.Е.** к.х.н., доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Еркасов Р.Ш.** д.х.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Маскевич А.А.** д.ф.-м.н., профессор, Гродненский государственный университет имени Я. Купалы, Гродна, Беларусь
- Мустафин Р.И.** PhD, доцент, Казанский государственный медицинский Университет, Казань, Россия
- Султанова Н.А.** к.х.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Филиппов С.К.** PhD, проф., Университет Академия Або, Турку, Финляндия
- Хуторянский В.В.** PhD, проф., Университет Рединга, Объединенное Королевство
- Шатрук М.** PhD, проф., Государственный университет Флориды, Талахасси, США

**География**

- Атасой Е.** PhD, проф., Университет Бурсы-Улудаг, Бурса, Турция
- Джаналеева К.М.** д.г.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Сапаров К.Т.** д.г.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Саипов А.А.** д.п.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

- Озгелдинова Ж.О.** PhD, ассоц.проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Жангужина А.А.** PhD, и.о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Дунец А.Н.** д.г.н., проф., Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
- Самарханов К.Б.** к.г.н., Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан
- Иржи Хлахула** PhD, проф., Университет им. А. Мицкевича, Познань, Польша
- Останин О.В.** к.г.н., доцент, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
- Абдиманапов Б.Ш.** д.г.н., проф., Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан
- Алагуджаева М.А.** PhD, АО НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», Астана, Казахстан

### **Экология**

- Сафаров Р.З.** к.х.н., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Саспугаева Г.Е.** PhD, ассоц.проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Инкарова Ж.И.** к.б.н., доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Зандыбай А.** к.б.н., доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Илеш А.** PhD, проф., Университет Орадя, Орадя, Румыния
- Ян А. Вент** д.г.н., проф., Университет Гданьска, Гданьск, Польша
- Мендыбаев Е.Х.** к.б.н., проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Жамангара А.К.** к.б.н., доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
- Ахмеденов К.М.** к.г.н., проф., Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан

**Адрес редакции:** 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402  
**Тел.:** +7(7172) 709-500, (вн. 33-207). **E-mail:** vest\_chem@enu.kz  
**Технический секретарь:** Адильбектеги Гульмира Адильбеккызы

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**

**Серия Химия. География. Экология**

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

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Регистрационное свидетельство № KZ81VPY00031939 от 02.02.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.33-207). Сайт: <http://bulchmed.enu.kz>

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

- К.Г. Аvezov, Б.Ш. Ганиев, Г.К. Холикова, М.О. Тухтаева**  
*Монокарбонилдердің тиосемикарбазондарын спектроскопиялық (ИК және ЯМР), DFT, PASS болжау, ADMET және молекулалық докинг зерттеуі*
- К.Г. Аvezov, Б.Ш. Ганиев, Г.К. Холикова, М.О. Тухтаева**  
*Спектроскопическое (ИК и ЯМР), DFT, предсказание PASS, ADMET и молекулярное докинг исследование тиосемикарбазонов монокарбониллов*
- K.G. Avezov, B.Sh. Ganiev, G.K. Kholikova, M.O. Tukhtaeva**  
*Spectroscopic (IR and NMR), DFT, PASS prediction, ADMET and molecular docking studies of thiosemicarbazones of monocarbonyls* 11
- А.А. Бакибаев**  
*Мочевинаның пребиотикалық молекуладан эволюциясы супрамолекулалық архитектура (шолу)*
- А.А. Бакибаев**  
*Эволюция мочевины от пребиотической молекулы до супрамолекулярной архитектуры (обзор)*
- A.A. Bakibaev**  
*Evolution of urea from prebiotic molecule to supramolecular architecture* 26
- Д. Ескожа, А. Жанайхан, А. Сәрсенғалиева, Л. Кусепова, Г. Тажкенова, А. Нурпеисова**  
*Пластик бөтелкелерді литий-ионды батареяға арналған қатты көміртекке өңдеу*
- Д. Ескожа, А. Жанайхан, А. Сәрсенғалиева, Л. Кусепова, Г. Тажкенова, А. Нурпеисова**  
*Переработка пластиковых бутылок в твердый углерод для литий-ионных аккумуляторов*
- D. Yeskozha, A. Zhanaikhan, A. Sarsengaliyeva, L. Kusepova, G. Tazhkenova, A. Nurpeissova**  
*Upcycling of plastic bottles into hard carbon for Li-ion batteries* 57
- Ж. Көркембай, А.Н. Алипбаев, З.А. Мансуров**  
*Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) катализатор қатысында аммоний перхлораты негізіндегі қатты отынның жану үрдіс*
- Ж. Коркембай, А.Н. Алипбаев, З.А. Мансуров**  
*Процесс сгорания в присутствии твердотопливного катализатора Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) на основе перхлората аммония*
- Zh. Korkembay, A.N. Alipbayev, Z.A. Mansurov**  
*Combustion process in the presence of Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) solid fuel catalyst based on ammonium perchlorate* 67

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОГРАФИЯ/ GEOGRAPHY

**Р.А. Ибрагимова, М.М. Аvezov, А.А. Ибраимова**

*Арал физикалық-географиялық ауданының ландшафттары және оларды аудандастыру тәжірибесі*

**Р.А. Ибрагимова, М.М. Аvezov, А.А. Ибраимова**

*Ландшафты Аральского физико-географического округа и опыты их районирования*

**R.A. Ibragimova, M.M. Avezov, A.A. Ibraimova**

*The landscapes of the Aral physical-geographical region and their zoning experiments*

79

**Е.Х. Какимжанов, Қ.Т. Қырғызбай, Б.Е. Шимшиков, Т.А. Базарбаева, С.М. Жуматаев**

*Ақтөбе облысының өнеркәсіп жағдайында топырақтың ауыр металдармен ластануын картографиялық әдістер негізінде бағалау*

**Е.Х. Какимжанов, К.Т. Кыргызбай, Б.Е. Шимшиков, Т.А. Базарбаева, С.М. Жуматаев**

*Методы картографирования для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами в условиях промышленности Актыубинской области*

**Ye.Kh. Kakimzhanov, K.T. Kyrgyzbay, B.E. Shimshikov, T.A. Bazarbayeva, S.M. Zhumatayev**

*Mapping methods for assessing soil pollution with heavy metals in the industrial conditions of Aktobe region*

95

**Г.Т. Оспан, Ж.О. Озгелдинова, А.А. Жангужина**

*Нұра өзені алабының ландшафтық-геохимиялық жағдайына антропогендік факторлардың әсерін талдау*

**Г.Т. Оспан, Ж.О. Озгелдинова, А.А. Жангужина**

*Анализ влияния антропогенных факторов на ландшафтно-геохимическое состояние бассейна реки Нура*

**G.T. Ospan, J.O. Ozgeldinova, A.A. Zhanguzhina**

*Analysis of impact of anthropogenic factors on the landscape-geochemical state of the Nura river basin*

110

**Т.Т. Турсынова, А.Ж. Ахметова, И.В. Закиров**

*Шығыс Қазақстандағы сыртқы халық көші-қоны географиясындағы қазіргі үрдістер*

**Т.Т. Турсынова, А.Ж. Ахметова, И.В. Закиров**

*Современные тенденции географии внешней миграции населения Восточного Казахстана*

**T.T. Tursynova, A.Zh. Akhmetova, I.V. Zakirov**

*Current trends in the geography of external migration in Eastern Kazakhstan*

123

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ  
ЭКОЛОГИЯ/ ECOLOGY

- Ш.Б. Ақмағамбет, А.Қ. Жаманғара, С.А. Нигматова, Ж.А. Адамжанова**  
*Қиын-Керіш флорасы негізінде ерте олигоцен климатының реконструкциясын жасауда  
Coexistence Approach әдісін қолдану*
- Ш.Б. Ақмағамбет, А.Қ. Жаманғара, С.А. Нигматова, Ж.А. Адамжанова**  
*Использование метода Coexistence Approach для реконструкции климата раннего олигоцена на  
основе палеофлористических данных останца Киин-Керіш*
- Sh.B. Akmagambet, A.K. Zhamangara, S.A. Nigmatova, Zh.A. Adamzhanova**  
*Application of the Coexistence Approach method for early Oligocene climate reconstruction based on  
paleofloristic data from the Kiin-Kerish outcrop* 134
- А.М. Задағали, А.Қ. Жаманғара, Т.Н. Самарханов, Ж.А. Адамжанова**  
*Көкшетау қыратының кейбір көлдерінің гидрохимиялық режимі*
- А.М. Задағали, А.К. Жаманғара, Т.Н. Самарханов, Ж.А. Адамжанова**  
*Гидрохимический режим некоторых озер Кокшетауской возвышенности*
- A.M. Zadagali, A.K. Zhamangara, T.N. Samarkhanov, Zh.A. Adamzhanova**  
*Hydrochemical regime of some lakes of Kokshetau upland* 148
- М. Ратиу**  
*Қоршаған ортаны қорғаудан экологиялық тұрақтылыққа көшу*
- М. Ратиу**  
*Переход от охраны окружающей среды к экологической устойчивости*
- M. Ratiu**  
*Transition from environmental protection to environmental sustainability* 159
- Г.А. Садырова, Б.Е. Шимшиков, Б.М. Тыныбеков, А.С. Нурмаханова,  
К.С. Оразбекова, М.Б. Тастыбай, М.Т. Иманалиева, Н.А. Бекбосын**  
*Оңтүстік-Шығыс Қазақстандағы сирек және эндемикалық өсімдіктер түрлерінің  
экологиялық және биологиялық ерекшеліктері*
- Г.А. Садырова, Б.Е. Шимшиков, Б.М. Тыныбеков, А.С. Нурмаханова,  
К.С. Оразбекова, М.Б. Тастыбай, М.Т. Иманалиева, Н.А. Бекбосын**  
*Эколого-биологические особенности некоторых редких и эндемичных видов растений юго-  
востока Казахстана*
- G.A. Sadyrova, B.E. Shimshikov, B.M. Tynybekov, A.S. Nurmakhanova,  
K.S. Orazbekova, M.B. Tastybay, M.T. Imanaliyeva, N.A. Bekbossyn**  
*Ecological-biological features of some rare and endemic plant species of south-east Kazakhstan* 166



MPHTI 31.21.19.; 31.27.22.; 31.01.77 DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-11-25>

Научная статья

## Спектроскопическое (ИК- и ЯМР), DFT, предсказание PASS, ADMET и молекулярное докинг-исследование тиосемикарбазонов монокарбониллов

К.Г. Авезов<sup>1</sup> , Б.Ш. Ганиев<sup>2\*</sup> , Г.К. Холикова<sup>3</sup> , М.О. Тухтаева<sup>4</sup> 

<sup>1,2,3,4</sup> Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

(E-mail: <sup>1</sup>avezovkg@mail.ru, <sup>2</sup>b.ganiyev1990@gmail.com, <sup>3</sup>g.q.xoliqova@buxdu.uz, <sup>4</sup>m.o.tuxtayeva@buxdu.uz)

**Аннотация.** ИК-спектры были записаны в диапазоне 4000-600 см<sup>-1</sup> и сравнены с теоретически полученными спектрами. Химические сдвиги ЯМР <sup>1</sup>H были рассчитаны с использованием метода GIAO, и полученные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными. Оптимизированная молекулярная структура и анализ стабильности соединений АТС и ЭТС а были рассчитаны с использованием теоретического уровня DFT/B3LYP/6-311G(d, p). Также были рассчитаны молекулярный электростатический потенциал, химические характеристики и энергии ВЗМО-НСМО. Фармакологическая оценка *in silico* показала, что названная молекула обладает сходством с лекарственным средством и свойствами ADMET. Результаты исследования ADMET также указывают на то, что молекула может быть использована в противотуберкулезной терапии для создания новых лекарств. Кроме того, были проведены анализы молекулярного докинга, чтобы определить наиболее активные участки связывания соединения с целевым белком. Молекулы соединены с белком 7EL8, при этом значения энергии свободного связывания тиосемикарбазонов составляют -6,35768 и -6,93039 ккал/моль.

**Ключевые слова:** спектроскопия, ИК-спектры, ЯМР-спектры, DFT, ADMET, PASS-анализ, молекулярный докинг, структура, квантово-химический расчет, НОМО, LUMO, молекулярная орбиталь

Поступила: 22.10.2024. Одобрена: 03.12.2024. Доступна онлайн: 31.12.2024.

\* Автор-корреспондент

## Введение

Основания Шиффа представляют собой важную и интересную группу химических соединений, поскольку они проявляют ряд биологических активностей и играют важную роль в регуляции многих биохимических процессов. Благодаря этим свойствам эти соединения потенциально полезны для разработки и производства новых противоопухолевых, противомаларийных, противовирусных и противомикробных препаратов [1-6]. Наиболее значимые биологические свойства оснований Шиффа обнаружены в различных семикарбазонах (против простейших, противосудорожных) и тиосемикарбазонах (антибактериальных, противогрибковых, противоопухолевых, противовирусных) и их металлокомплексах, таких, как гидроксисемикарбазид, которые продемонстрировали потенциальную противоопухолевую активность в отношении клеток мышинового лейкоза L1210 [2, 6].

Кроме того, тиосемикарбазоны используются в качестве универсальных хелаторов для многих ионов металлов благодаря своим донорным наборам из твердых атомов азота и мягких атомов серы [7, 8, 31, 32]. Молекулы тиосемикарбазона могут связываться с металлическим центром различными координационными способами, и обычно би- и тридентатные молекулы используют азот, серу и/или кислород из карбонильного фрагмента [8, 9, 32].

Также авторами ранее были исследованы структура и свойства лигандов на основе фторированных дикарбонильных соединений и их ароилгидразонов. На основе этих лигандов синтезированы и исследованы комплексы 3d металлов, как VO(II), Cu(II), Ni(II) [11-15]. В данной статье проведен синтез и спектроскопическое (ИК- и ЯМР), DFT, ADMET, PASS и молекулярное докинг-исследование тиосемикарбазонов монокарбониллов, как ацетон (АТС) и этил метил кетон (ЭТС).

## Материалы и методы

### Синтез тиосемикарбазонов ацетона (АТС) и этил метил кетона (ЭТС).

#### Синтез тиосемикарбазона ацетона

В круглодонной колбе емкостью 250 мл 2,9 г (0,05 моль) ацетона в 25 мл раствора этанола заливают 4,55 г (0,05 моль) тиосемикарбазид в 25 мл этанола. Реакционную смесь кипятят на водяной бане 3 часа с установленным обратного холодильника. После окончания реакции смесь оставляли на 1 сутки. В этом случае не выпал осадок, после испарения 2/3 растворителя и при охлаждении образовался осадок, полученный осадок отфильтровали. Отфильтрованный осадок промывали небольшим количеством этанола и сушили на воздухе. Выход 57%. C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>S элементных анализ: С 36.64; Н 6.87; N 32.06. расч: С 36.62; Н 6.91; N 32.03 %.

#### Синтез тиосемикарбазона этил метил кетона

Также синтез тиосемикарбазона этил метил кетона был как тиосемикарбазона ацетона (рис. 1). Раствор 4,55 г (0,05 моль) тиосемикарбазид в 25 мл этанола заливают в круглодонную колбу емкостью 250 мл 3,6 г (0,05 моль) этил метил кетона в 25 мл раствора этанола. Выход 65%. C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>S элементных анализ: С 41.29; Н 7.68; N 28.91, расч: С 41.35; Н 7.64; N 28.94 %.



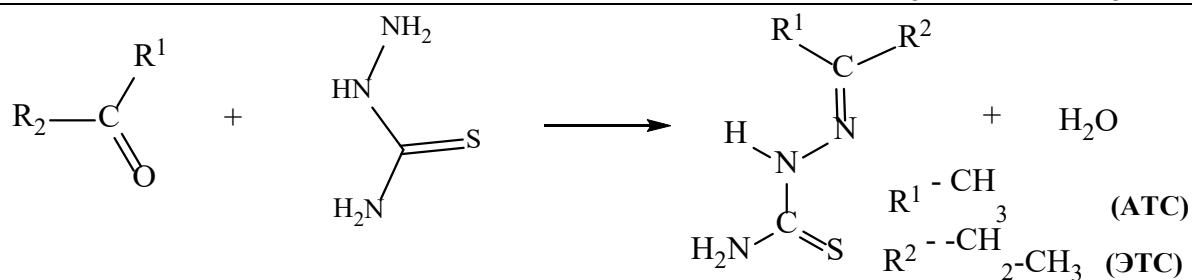


Рисунок 1. Схема синтеза тиосемикарбазона этилметилкетона

**ИК-спектроскопия.** ИК-спектроскопический анализ проводился с использованием инфракрасного спектрометра “IR Tracer-100” Fure (Shimadzu, Япония), длины волн спектрального диапазона  $4000 \div 600 \text{ см}^{-1}$ , отношение чувствительности сигнал/шум - 60 000:1, скорость сканирования 20 спектров в секунду.

**ЯМР-спектроскопия.** Спектры  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР регистрировали на спектрометре JNM-ECZ600R (JEOL, Япония) при рабочей частоте 600 МГц для  $^1\text{H}$  в растворах DMSO-d<sub>6</sub>. В качестве внутреннего стандарта в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  использовали ТМС (0 м.д.). В спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  в качестве внутреннего стандарта использовался химический сдвиг растворителя (DMSO-d<sub>6</sub>, 39.52 м.д. относительно ТМС).

**DFT-расчеты и вычислительные аспекты.** Все наши теоретические расчеты, выполненные с использованием DFT/B3LYP на базовом наборе 6-311G(d, p), были выполнены с использованием программного обеспечения Gaussian 09 [16, 17]. Нормальные режимы спектральных частот молекул АТС и ЭТС также были изучены с использованием метода DFT с тремя уровнями теорий, и результаты показывают, что коэффициент масштабирования по частоте составляет 0,967 [18, 19]. Метод B3LYP/6-311G(d, p) исследует химическую защиту ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  и химические сдвиги в растворителе ДМСО [20]. Используя тот же уровень теории, были проведены исследования химических дескрипторов, НОМО-LUMO и MEP. Были рассчитаны схемы расположения атомных зарядов, электронная плотность и карты поверхности молекулярной энергии оптимизированной структуры, а также визуализирована трехмерная структура с помощью пакета Gauss View 06 [21]. Теоретические частоты колебаний визуализируются с помощью программного обеспечения Gabedit [22].

Молекулярный докинг проводился с использованием программного комплекса Arguslab [23]. Межмолекулярные взаимодействия между белково-лигандными комплексами были визуализированы с помощью программного обеспечения Biovia Discover Studio Visualizer 4.0 [24, 25]. Онлайн-инструменты Molinspiration и PreADMET были использованы для определения сходства с лекарственными средствами и свойств ADMET тиосемикарбазоны АТС и ЭТС [26, 27].

## Результаты и обсуждение

**ИК спектроскопия:** Образование и чистота соединения были подтверждены путем измерения температуры плавления и инфракрасного спектра. Появление сильной полосы при  $1646,68 \text{ см}^{-1}$  подтвердило образование связи C=N. Другие пики, появившиеся в ИК-спектрах, соответствуют -NH<sub>2</sub>, -NH- и т.д. при  $3178\text{-}3000 \text{ см}^{-1}$ , для C = S при  $1164 \text{ см}^{-1}$  и т.д. (рис. 2-5). Плавление соединения очень похоже на приведенное в литературе значение ( $172\text{-}175^\circ\text{C}$ ) [32].

В литературе [33] колебательные волновые числа были рассчитаны с использованием базисных наборов HF/6-31G(d) и V3LYP/6-31G(d) и назначены с помощью программы MOLEKEL, а в нашей статье были рассчитаны колебательные волновые числа с использованием базисного набора V3LYP/6-311G(d, p) с помощью программы программного обеспечения Gaussian 09 (рис. 4-5).

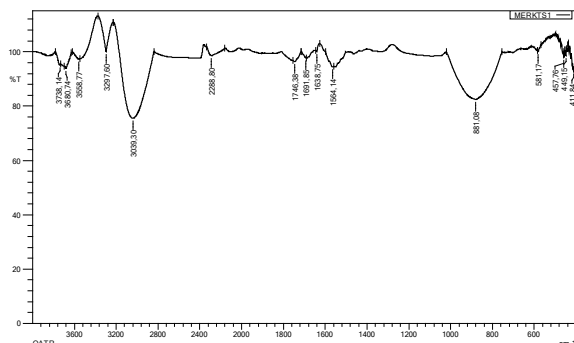


Рисунок 2. ИК-спектр АТС

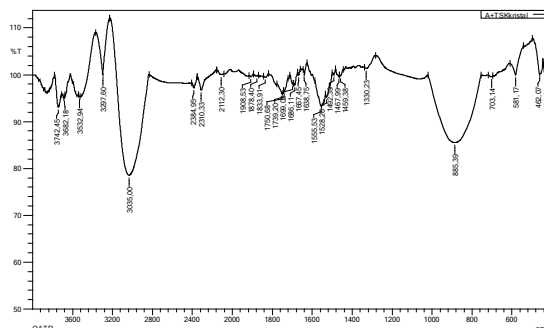


Рисунок 3. ИК-спектр ЭТС

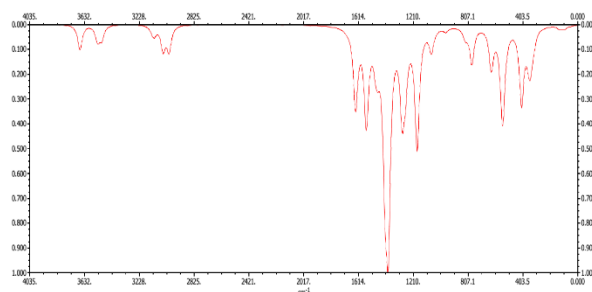


Рисунок 4. Теоретически предсказанные ИК-спектр АТС

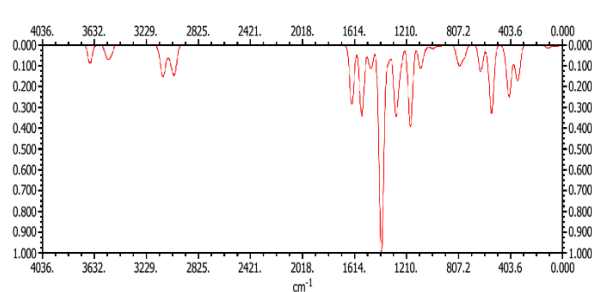


Рисунок 5. Теоретически предсказанные ИК-спектр ЭТС

Резюмируя литературные данные, можно сказать, что тиосемикарбазоны монокарбониллов (АТС и ЭТС) имеют два типа таутомерных форм, как тион (А) и тиол (В) (Рис. 6). Доказано с помощью ЯМР-спектроскопии, что форма В образуется при конденсации монокарбонильных соединений с тиосемикарбазидом [31, 32].

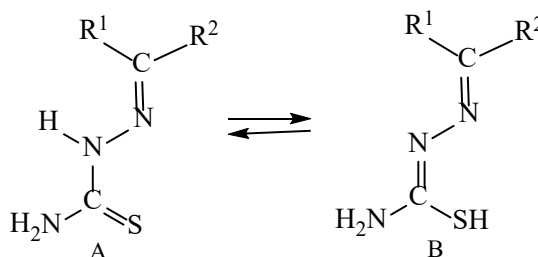


Рисунок 6. Таутомерные формы тиосемикарбазонов монокарбониллов (АТС и ЭТС), как тион (А) и тиол (В)

**ЯМР-спектроскопия:** Спектральные данные <sup>1</sup>H-ЯМР (δ, ppm), записанные только в DMSO-d<sub>6</sub> тиосемикарбазонов АТС и ЭТС, представлены в таблице 1. Пик при 7,68-7,99 частей на миллион, относящийся к группе N-H, указывает на то, что лиганд находился в форме тиона, что соответствует ИК-спектру. Метильные сигналы от координированного тиосемикарбазона в комплексах наблюдались при 1,95-2,49 частях на миллион. Значительный сигнал азометиновых протонов, обусловленный CH=N, наблюдался при 7,00-9,90 частях на миллион. Смещение сигналов N-H и NH<sub>2</sub>

вниз по полю связано с координацией через азотинный атом азота и тиокарбонильный атом серы, что согласуется с данными инфракрасного спектра. Эти наблюдения согласуются с выводами предыдущих исследователей [31, 32]. Сняты  $^1\text{H}$  ЯМР (DMSO-d<sub>6</sub>, 25 °C) спектров, исследуемых тиосемикарбазонов: характерные химические сдвиги для АТС  $\delta$  1.84 (s, CH<sub>3</sub>), 2.09 (s, CH<sub>3</sub>), 7,12; 7.72 (2s, NH<sub>2</sub>), 8.59 (s, NH) и для ЭТС  $\delta$  1.94 (s, CH<sub>3</sub>), 2.17 (s, CH<sub>2</sub>), 1.07 (s, CH<sub>3</sub>), 7.34 и 7.92 (2s, NH<sub>2</sub>), 9.34 (s, NH). Также химические сдвиги ЯМР  $^1\text{H}$  были рассчитаны с использованием метода GIAO, и полученные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными (таблица 1).

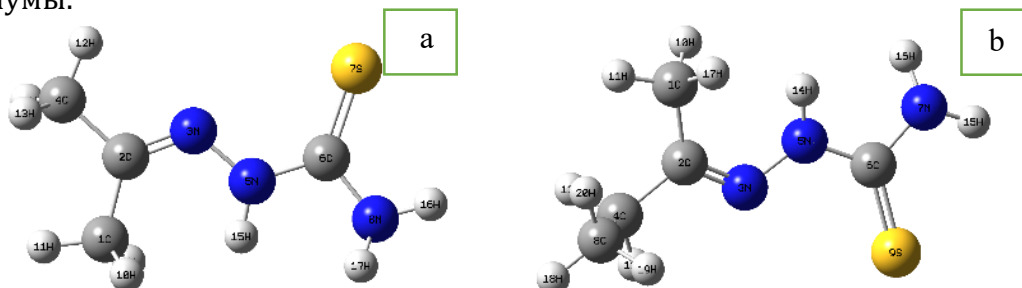
**Таблица 1. Химические сдвиги  $^1\text{H}$  ЯМР (все в ppm) тиосемикарбазонов монокарбонильных соединений**

Соединение	-CH <sub>3</sub> (протоны метиловой группы)	- <sup>4</sup> NH <sub>2</sub> (Протоны имино группы)	- <sup>2</sup> NH (Протоны азотина)	Ссылка
Тиосемикарбазон ацетона	1.90; 2.01	6.46, 7.22	8.59	[31]
	1.91; 1.92	7.51, 7.99	9.90	[32]
	1.84; 2.09	7,12; 7.72	9.44	Данная работа
	1,30; 1,30; 2,95 1,85; 2,11; 2,45	4,11; 4,91	6,16	Расч.
Тиосемикарбазон этил метил кетона	1.07; 1.94; 2.17	7,34; 7.92	9.34	Данная работа
	1,00; 1,10; 1,15 1,30; 1,53; 1,97 2,06; 2,61	3,86; 4,89	6,98	Расч.

<sup>a</sup> Данные твердотельного ЯМР. Химические сдвиги, рассчитанные в приближении TMS HF/6-31G(d) GIAO.

<sup>b</sup> Экспериментальный спектр, записанный на AVANCE-600 (DMSO-d<sub>6</sub>, 298K, 600,13 МГц для протонов) в МГУ (Москва).

**Оптимизация геометрии, НОМО-LUMO и квантово-химические свойства**  
Оптимизированная геометрия анализируемых соединений (АТС и ЭТС), определенная с помощью расчетов DFT, показана на рис. 7. После оптимизации каждая структура была подвергнута частотному анализу для проверки ее статуса как глобального минимума. Результаты показывают, что все структуры, оптимизированные по геометрии, действительно представляют собой глобальные минимумы.



**Рисунок 7. Оптимизированная структура АТС (а) и ЭТС (б)**

В квантово-химическом расчете для оценки общей химической реакционной способности молекул используется концептуальная теория функциональной плотности, учитывающая электроотрицательность ( $\chi$ ), химический потенциал ( $\mu$ ).

общую твердость ( $\eta$ ), общую мягкость ( $S$ ),  $\sigma$ -абсолютную мягкость и индекс электрофильности ( $\omega$ ) молекулы вещества (рис.8).

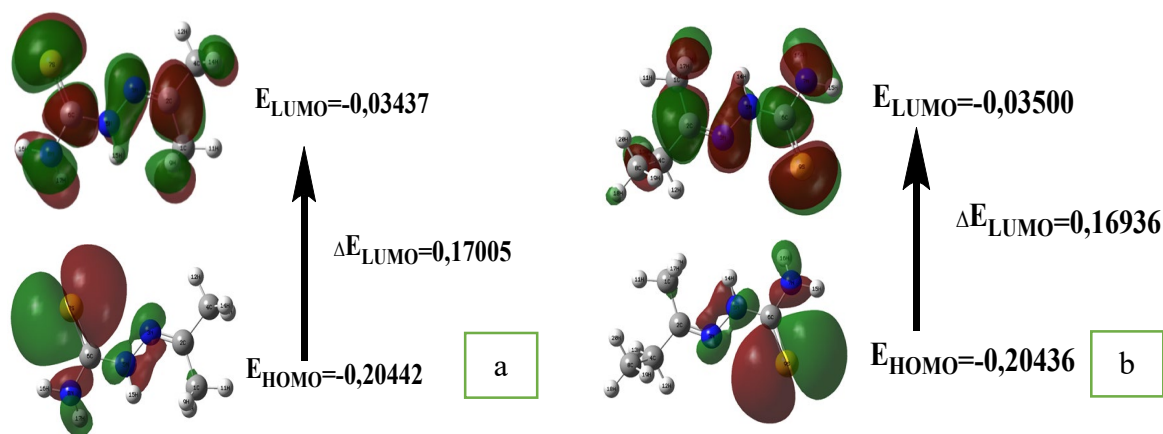


Рисунок 8. Теоретически предсказанные НОМО-LUMO орбитали АТС (а) и ЭТС (б)

Эти особенности реактивности вычисляются с использованием энергии граничных молекулярных орбиталей  $E_{\text{HOMO}}$ ,  $E_{\text{LUMO}}$ , таких как  $\chi = -1/2(E_{\text{LUMO}} + E_{\text{HOMO}})$ ,  $\mu = -\chi = 1/2(E_{\text{LUMO}} + E_{\text{HOMO}})$ ,  $\eta = 1/2(E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}})$ ,  $\sigma = 1/\eta$ ,  $S = 1/2\eta$  и  $\omega = \mu^2/2\eta$ . Значения граничных энергий молекулярных орбиталей ( $E_{\text{LUMO}}$ ,  $E_{\text{HOMO}}$ ) дескрипторов реактивности для тиосемикарбазонов АТС и ЭТС приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения рассчитанных квантово-химических параметров тиосемикарбазонов АТС и ЭТС

Параметр	АТС	ЭТС
$E_{\text{HOMO}}$ (eV)	-0,20442	-0,20436
$E_{\text{LUMO}}$ (eV)	-0,03437	-0,035
$\Delta E_{\text{LUMO-HOMO}} = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$ (eV)	0,17005	0,16936
Энергия ионизации, $I = -E_{\text{HOMO}}$ (eV)	0,20442	0,20436
Сродство к электрону, $A = -E_{\text{LUMO}}$ (eV)	0,03437	0,035
Электроотрицательность, $\chi = (I + A)/2$ (eV)	0,119395	0,11968
Химический потенциал, $\mu = -\chi$ (eV)	-0,119395	-0,11968
Глобальная химическая твердость, $\eta = (I - A)/2$ (eV)	0,17005	0,16936
Глобальная химическая мягкость, $S = 1/(2\eta)$ (eV <sup>-1</sup> )	2,9403	2,9522
Глобальный индекс электрофильности, $\omega = \mu^2/(2\eta)$ (eV)	0,04192	0,04228
$\Delta N_{\text{max}} = -\mu/\eta$	0,702117	0,70666

Установлено, что относительная энергия комплекса, необходимая для перехода электрона с высшей занятой (НОМО) на низшую свободную молекулярную орбиталь (LUMO) в отличие от радикала уменьшает. Разница энергий ВЗМО и НСМО равны для АТС  $\Delta E = 0,17005$  eV и для ЭТС  $\Delta E = 0,16936$  eV.

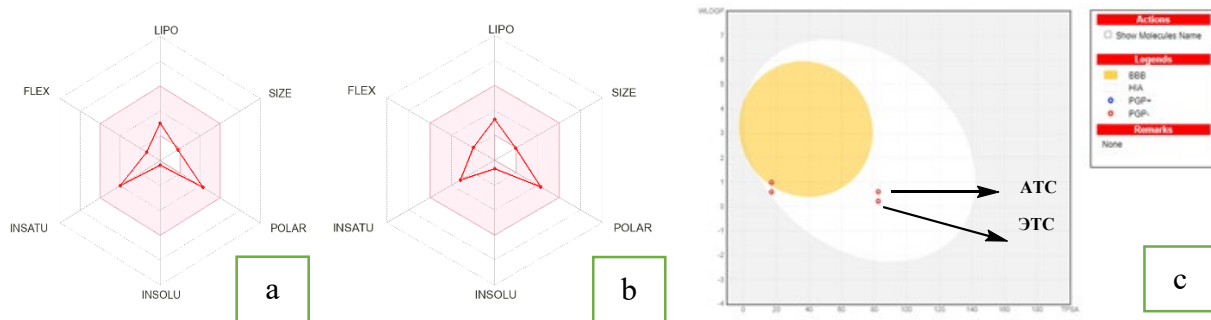
Molinspiration позволяет быстро и эффективно прогнозировать различные молекулярные свойства, такие, как  $\log P$ ,  $\log S$ ,  $pK_a$  и т. д., что имеет важное значение при разработке лекарств и других приложений, связанных с химией [26]. Нами проведена оценка биологических тиосемикарбазонов АТС и ЭТС с помощью программного обеспечения Molinspiration, программа позволила определить тиосемикарбазонов АТС и ЭТС по отношению к различным клеточным рецепторам, таким, как ионные каналы, ферменты GPCR, протеазы, киназы и ядерные рецепторы (таблица 3).

**Таблица 3. Расчет показателей биологической активности с использованием Molinspiration**

Соединение	GPCR-лиганд	Модулятор ионных каналов	Ингибитор киназы	Лиганд ядерного рецептора	Ингибитор протеазы	Ингибитор фермента
АТС	2.89	-2.325	-3.308	-3.519	-3.161	-1.848
ЭТС	-1.776	-1.431	-2.37	-2.29	-2.178	-0.852

Монокарбонильные соединения - семи-, тиосемикарбазоны альдегидов и кетонов, а также ацил- и тиоацилгидразоны представляют собой соединения сложного строения и имеют различную таутомерную, геометрическую и конформационную форму.

В отличие от ацилгидразонов тиосемикарбазоны обладают более высокой электроакцепторной способностью атома серы, чем атома кислорода, что влияет на их структуру и свойства. Учитывая это, с помощью онлайн-сервера SwissADME [27] была предсказана и проанализирована биологическая активность тиосемикарбазонов ацетона и метилэтилкетона (рис.9).



**Рисунок 9. Радар биодоступности а) для АТС б) для ЭТС (цветная зона - подходящее физико-химическое пространство для биодоступности при пероральном приеме). Модель BOILED-Egg для молекул АТС и ЭТС**

Подобные исследования были использованы авторами для изучения и анализа показателей биологической активности 2-трифторацетилциклоалканонов бензоилгидразонов [28]. Специальные модели, составленные в разделе «Липофильность» онлайн-сервера SwissADME, оценивают индивидуальные – т.е. конкретные значения ADME и результаты исследуемых молекул – ацетона, метилэтилкетона, АТС и ЭТС (таблица 4).

**Таблица 4. Липофильность индикатора для молекул АТС и ЭТС**

Молекула	iLOGP	XLOGP3	WLOGP	MLOGP	Silicos-IT Log P	Consensus Log P
Ацетон	1,14	-0,05	0,60	0,15	0,19	0,40
АТС	1,52	-0,24	0,22	-0,10	0,73	0,43
Этил метил кетон	1,42	0,29	0,99	0,60	0,59	0,78
ЭТС	1,18	0,23	0,61	0,31	1,06	0,68

Сервер SwissADME в разделе «Фармакокинетика» составил особенные модели, расследуются индивидуальные значения ADME молекулы и результаты оценивает.

SwissADME позволяет определить, является ли химическое вещество субстратом P-гр или ингибитором наиболее важных изоферментов CYP. Мы применили алгоритм машины опорных векторов (SVM) 51 к большим наборам данных, которые были тщательно очищены от конкретных субстратов/несубстратов или ингибиторов/неингибиторов.

В аналогичных контекстах было обнаружено, что SVM работает лучше, чем другие алгоритмы машинного обучения для двоичной классификации [27]. Модели отвечают «Да» или «Нет», если исследуемая молекула с высокой вероятностью является субстратом или субстратом P-гр (известный ингибитор или неингибитор CYP, соответственно) (таблица 5).

**Таблица 5. «Фармакокинетика» индикаторы для молекул АТС и ЭТС**

Молекула	GI абсорбция	BBB permeant	PGP субстрат	CYP1A2 ингибитор	CYP2C19 ингибитор	cyp2c9 ингибитор	CYP2D6 ингибитор	CYP3A4 ингибитор	log Kp (cm/s)
Ацетон	Высокий	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	-6,69
АТС	Высокий	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	-7,27
Этил метил кетон	Высокий	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	-6,53
ЭТС	Высокий	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	-7,02

Программа PASS (Prediction Activity Structure Substances) была разработана двумя российскими учеными В.В. Поройковым и Д.А. Филимоновым [29]. По этой программе прогнозируется около 3000 биологических активностей веществ, ниже установлено, что ацетон и этилметилкетон тиосемикарбазоны (АТС и ЭТС) проявляют показатели антимикобактериальной и противотуберкулезной активности, результаты анализа представлены в таблице 6.

**Таблица 6. Показатели биологической активности ацетона и метилэтилкетонных (полу-) тиосемикарбазонов**

№	Тип биологической активности	Активность/ Неактивность	Изученные вещества			
			Ацетон	Этил-метил-кетон	АТС	ЭТС
1	Антимикобактериальный	P <sub>a</sub>	0,370	0,316	0,798	0,821
		P <sub>i</sub>	0,048	0,071	0,004	0,004
2	Противотуберкулезный	P <sub>a</sub>	0,390	0,285	0,798	0,819
		P <sub>i</sub>	0,034	0,079	0,004	0,003

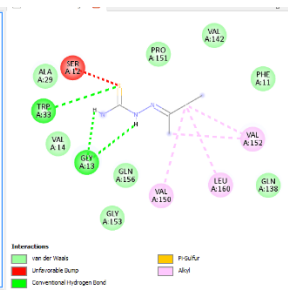
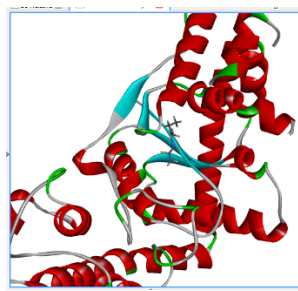
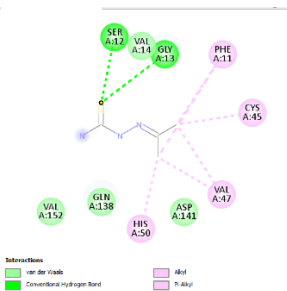
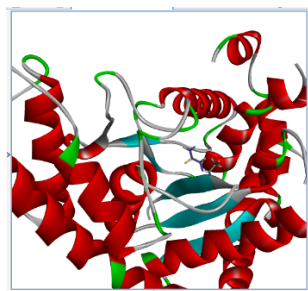
По анализу данных таблицы установлено, что тиосемикарбазоны более активны, чем ацетон и этилметилкетон, а производные этилметилкетона более активны, чем производные ацетона. С целью определения этих свойств был проведен молекулярный докинг тиосемикарбазонов ацетона и этилметилкетона с белком *Escherichia coli* типа 7EL8, полученным из *Mycobacterium Tuberculosis*.

Метод молекулярного докинга широко используется в химии и биологии для идентификации новых биологически активных соединений на основе взаимодействий рецептор-субстрат. Кроме того, метод позволяет изучить механизм взаимодействия лиганда или комплекса с макромолекулой и найти благоприятную



конформацию лиганда в активном центре белка. Взаимодействие с белком 7EL8, полученным из базы данных Protein Data Bank ([www.rcsb.org](http://www.rcsb.org)), мы изучали с помощью программного пакета Argus Lab [23-25]. Активный центр белков картировали в сетку 60×60×60 и осуществляли молекулярный докинг. Результаты молекулярной стыковки визуализировали с помощью программного обеспечения Discover Studio Visualizer 4.0 [24] (рис. 10-11).

Согласно результатам молекулярного докинга, полученным в программе ArgusLab, тиосемикарбазона ацетона (АТС) взаимодействовал в конформации 131 с -6,35768 ккал/моль, а тиосемикарбазона этилметилкетона взаимодействовал с конформацией 102 с энергией -6,93039 ккал/моль в белке 7EL8.



**Рисунок 10. Расположение АТС в активном центре белка 7EL8 и его взаимодействие с аминокислотными остатками**

**Рисунок 11. Расположение ЭТС в активном центре белка 7EL8 и его взаимодействие с аминокислотными остатками**

## Заключение

В этой работе мы провели *in silico* анализ тиосемикарбазонов монокарбониллов, как ацетон (АТС) и этилметилкетон (ЭТС) с использованием DFT. Свойства ADMET были предсказаны с использованием SwissADME и BOILED-Egg. Результаты исследования ADMET также указывают на то, что молекула может быть использована в противотуберкулезной терапии для создания новых лекарств. Кроме того, были проведены анализы молекулярного докинга, чтобы определить наиболее активные участки связывания соединения с целевым белком. Молекулы соединены с белком 7EL8, при этом значения энергии свободного связывания тиосемикарбазонов составляют -6,35768 и -6,93039 ккал/моль.

**Благодарности:** Авторы выражают благодарность кандидату химических наук, доценту кафедры «Химия и нефтегазовые технологии» Бухарского государственного университета У.М. Мардонову, а также за физико-химический (ЯМР и ИК спектры) анализ соединений доктору химических наук Х.М. Бабакулову, ведущему научному сотруднику, профессору Института химии растительных веществ им. С. Юнусова Академии наук Узбекистана.

**Конфликт интересов:** отсутствует конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Авезов Кувондик Гиёсович: написание – первоначальный черновик, валидация, методология, формальный анализ. Ганиев Бахтиёр Шукуруллоевич: написание – рецензирование и редактирование, написание – первоначальный черновик, валидация, исследование, формальный анализ. Холикова Гуляйра Кулдошевна: написание – рецензирование и редактирование, валидация, программное обеспечение, ресурсы, исследование. Тухтаева Мафтуна Одил кизи: написание – первоначальный черновик, методология.

## Список литературы

1. Przybylski P., Huczynski A., Pyta K., Brzezinski B., Bartl F. Biological Properties of Schiff Bases and Azo Derivatives of Phenols // *Current Organic Chemistry*. - 2009. - Vol. 13, № 2. - P. 124–148. <https://doi.org/10.2174/138527209787193774>.
2. Beraldo H., Gambino D. The Wide Pharmacological Versatility of Semicarbazones, Thiosemicarbazones and Their Metal Complexes // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. - 2004. - Vol. 4, № 1. - P. 31–39. <https://doi.org/10.2174/1389557043487484>.
3. Afrasiabi Z., Sinn E., Lin W., Ma Y., Campana C., Padhye S. Nickel (II) complexes of naphthaquinone thiosemicarbazone and semicarbazone: Synthesis, structure, spectroscopy, and biological activity // *Journal of Inorganic Biochemistry*. - 2005. - Vol. 99, № 7. - P. 1526–1531. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2005.04.012>.
4. Hall I.H., Wong O.T., Chapman J.M. Cytotoxicity of imides-N-alkyl semicarbazones, thiosemicarbazones, acetylhydrazones and related derivatives // *Anti-cancer drugs*. - 1995. - Vol. 6, № 1. - P. 147–153. <https://doi.org/10.1097/00001813-199502000-00017>
5. Bendi A., Yadav P., Saini K., Singh Bhathiwal A., Raghav N.A Comprehensive Examination of Heterocyclic Scaffold Chemistry for Antitubercular Activity // *Chemistry & Biodiversity*. - 2024. - Vol. 21, № 5. - P. e202400067. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400067>.
6. Yakan H., Muğlu H., Türkeş C., Demir Y., Erdoğan M., Çavuş S., Beydemir Ş. A novel series of thiosemicarbazone hybrid scaffolds: Design, synthesis, DFT studies, metabolic enzyme inhibition properties, and molecular docking calculations // *Journal of Molecular Structure*. - 2023. - Vol. 1280. - P. 135077. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135077>
7. Bisceglie F., Bacci C., Vismarra A., Barilli E., Pioli M., Orsoni N., Pelosi G. Antibacterial activity of metal complexes based on cinnamaldehyde thiosemicarbazone analogues // *Journal of inorganic biochemistry*. - 2020. - Vol. 203. - P. 110888. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.110888>
8. Умаров Б.Б. Комплексные соединения некоторых переходных металлов с бис-5-оксипиразолинами: Дис. докт. хим. наук.- Ташкент: ИУ АН РУз, 1996.- 350 с.
9. Eğlence-Bakır S., Sacan O., Şahin M., Yanardag R., Ülküseven B. Dioxomolybdenum(VI) complexes with 3-methoxy salicylidene-N-alkyl substituted thiosemicarbazones. Synthesis, characterization, enzyme inhibition and antioxidant activity // *Journal of Molecular Structure*. - 2019. - Vol. 1194. - P. 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.05.077>
10. Avezov K.G., Yakimovich S.I., Umarov B.B. et al. Nickel(II) Complexes Based in Products of Condensation of Aroyl-(perfluoroacyl)methanes with Benzoylhydrazine // *Russian J. of Coord. Chem.*- 2011.- Vol. 37, No 4.- P. 275–280. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070328411030018>
11. Umarov B.B. et al. Synthesis and crystal structure of nickel (II) complex based on 2-trifluoroacetylcycloalkanone benzoylhydrazones // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. - 2014. - Vol. 40. - P. 473-476. <http://dx.doi.org/10.1134%2FS1070328414070094>
12. Umarov B., Kuchkarova R., Kodirova S. Reaction of 1,1,1-trifluoromethyl-4-phenylbutanedione-2,4 with benzoic acid hydrazide // *Information technology in industry*. - 2021. - Vol. 9, № 3. - P. 939-944.
13. Аvezов К.Г., Умаров Б.Б. Синтез, ИК и ЯМР спектроскопия комплексов никеля(II) на основе бензоилгидразонов 2-перфторацетилциклоалканонов // *Universum: химия и биология*. - 2016. - № 12. - P. 45-49.
14. Холикова Г.К., Муродова С.Б., Аvezов К.Г. Синтез и ИК-спектроскопия комплексных соединений ванадила(II) на основе бензоилгидразонов ароилтрифторацетилметанов // *Scientific progress*. - 2021. - Vol. 1, № 4. - P. 243-248.
15. Мардонов У. и др. Синтез и ЭПР спектроскопия комплексов меди(II) и ванадила(II) с бензоилгидразонами 2-трифторацетилциклоалканонов // *Чугаевская конференция по координационной химии*. - 2005. - P. 416-417.
16. Frisch M.J., Nielsen A.B. *Gaussian 03 Programmer's Reference*. Gaussian, 2003.
17. Hiscocks J., Frisch M. J. *Gaussian 09: IOps Reference*. - Wallingford, CT, USA: Gaussian, 2009.



18. Ganiev B., Mardonov U., Kholikova G. Molecular structure, HOMO-LUMO, MEP - - Analysis of triazine compounds using DFT (B3LYP) calculations // Materials Today: Proceedings. - 2023. - P. S2214785323048733. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.191>.
19. Shukurullaevich G.B. Studies of global descriptors and reactivity of cyanuric acid semicarbazone using DFT //Journal of science, research and teaching. - 2023. - Vol. 2, №. 5. - P. 124-133.
20. Tursunov M.A. et al. <sup>1</sup>H NMR spectra and crystal structure of the nickel(II) complex with ethyl 5,5-dimethyl-2,4-dioxohexanoate aroylhydrazones //Russian Journal of Coordination Chemistry. - 2017. - Vol. 43. - P. 93-96. <https://doi.org/10.1134/S1070328417020087>
21. Бутырская Е.В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и Gaus View. - Москва, Салон-Пресс, 2011. - 224 с.
22. Allouche A.R. Gabedit - A graphical user interface for computational chemistry softwares //Journal of computational chemistry. - 2011. - Vol. 32, №. 1. - P. 174-182. <https://doi.org/10.1002/jcc.21600>
23. Bitencourt-Ferreira G., de Azevedo W.F. Molecular docking simulations with ArgusLab //Docking screens for drug discovery. - 2019. - P. 203-220. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9752-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9752-7_13)
24. Jejurikar B.L., Rohane S.H. Drug designing in discovery studio. 2021. 135-138. <http://dx.doi.org/10.5958/0974-4150.2021.00025.0>
25. Adasme M.F. et al. PLIP 2021: Expanding the scope of the protein–ligand interaction profiler to DNA and RNA //Nucleic acids research. - 2021. - Vol. 49, №. W1. - P. W530-W534. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab294>
26. Molinspiration Chemoinformatic Software: <https://www.molinspiration.com/>
27. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // Scientific Reports. - 2017. - Vol. 7, № 1. - P. 42717. <https://doi.org/10.1038/srep42717>.
28. Avezov Q.G., Umarov B.B., Ganiyev B.Sh., Xoliqova G.Q., Ergashova B.Z. 2-trifloratsetilsikloalkanon benzoilgidrazonlarining ADMET biofaollik ko'rsatkichlari. "Supramolekulyar kimyoning yutuq va istiqbollari" mavzuidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani. 15 may. Toshkent. 2024. - P. 66-68
29. Filimonov D.A. et al. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the PASS online web resource //Chemistry of Heterocyclic Compounds. - 2014. - Vol. 50. - P. 444-457. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs10593-014-1496-1>
30. <https://youtu.be/DdMElO1J7lQ>
31. Paul P. et al. Unusual chemical transformations of acetone thiosemicarbazone mediated by ruthenium: C–H bond activation, thiolation, and C–N bond cleavage // RSC Advances. - 2014. - Vol. 4, №. 3. - P. 1432-1440. <http://doi.org/10.1039/C3RA44329A>
32. Кроман В. et al. Metal Complexes of acetone thiosemicarbazone: synthesis, spectral characterization and pharmacological studies // Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry. - 2016. - Vol. 2, №. 2. - P. 34-40. <http://doi.org/10.18576/jpac/020203>
33. Anoop M.R., Binil P.S., Suma S., Sudarsanakumar M.R., Varghese H.T., Panicker C.Y. Vibrational spectroscopic studies and computational study of ethyl methyl ketone thiosemicarbazone. //Journal of Molecular Structure. - 2010. - Vol. 969, №. 1-3. - P. 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.01.041>

К.Ф. Аvezов<sup>1</sup>, Б.Ш. Ғаниев<sup>\*2</sup>, Г.Қ. Холиқова<sup>3</sup>, М.О. Тўхтаева<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Бўхара мемлекеттік университети, Бўхара, Ўзбекистан

### Монокарбонилдердің тиосемикарбазондарын спектроскопиялық (ИҚ және ЯМР), DFT, PASS болжау, ADMET және молекулалық докинг зерттеуі

**Аңдатпа.** ИҚ спектрлері 4000-600 см<sup>-1</sup> диапазонында жазылып, теориялық алынған спектрлермен салыстырылды. <sup>1</sup>H ЯМР химиялық ығысулары GIAO әдісі арқылы есептелді

және нәтижелер эксперименттік деректермен салыстырылды. АТС және ЭТС а қосылысының оңтайландырылған молекулалық құрылымы мен тұрақтылық талдауы DFT/B3LYP/6-311G(d, p) теориялық деңгейін қолдану арқылы есептелді. Молекулалық электростатикалық потенциал, химиялық сипаттамалар және жоғары бос емес және төменгі бос молекулалық орбитальдар ЖБМО және ТБМО энергиялары да есептелді. Фармакологиялық *in silico* бағалауда аталған молекуланың дәрілік затпен ұқсастығы мен ADMET қасиеттері бар екені анықталды. ADMET зерттеуінің нәтижелері молекуланы туберкулезге қарсы терапияда жаңа препараттарды жасау үшін қолдануға болатынын көрсетеді. Сонымен қатар, қосылыстың мақсатты ақуызға ең белсенді байланысу орындарын анықтау үшін молекулалық қондыру талдаулары орындалды. Молекулалар 7EL8 ақуызымен байланысады, ал тиосемикарбазондардың бос байланыс энергиялары -6,35768 және -6,93039 ккал/моль.

**Түйін сөздер:** Спектроскопия, ИҚ-спектрлер, ЯМР-спектрлері, DFT, ADMET, PASS-талдау, молекулалық докинг, құрылым, квантты-химиялық есептеу, HOMO, LUMO, молекулалық орбиталь.

K.G. Avezov<sup>1</sup>, B.Sh. Ganiev<sup>\*2</sup>, G.K. Kholikova<sup>3</sup>, M.O. Tukhtaeva<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

### Spectroscopic (IR and NMR), DFT, PASS prediction, ADMET and molecular docking studies of thiosemicarbazones of monocarbonyls

**Abstract.** The IR spectra were recorded in the range of 4000-600 cm<sup>-1</sup> and compared with the theoretically obtained spectra. The chemical shifts of NMR <sup>13</sup>C and <sup>1</sup>H were calculated using the GIAO method, and the results obtained were compared with experimental data. The optimized molecular structure and stability analysis of the aztreonam compound were calculated using the theoretical level of DFT/B3LYP/6-311G(d,p). The molecular electrostatic potential, chemical characteristics and HOMO-LUMO energies were also calculated. Pharmacological evaluation *in silico* showed that the named molecule has similarities with the drug and ADMET properties. The results of the ADMET study also indicate that the molecule can be used in anti-tuberculosis therapy to create new drugs. In addition, molecular docking analyses were performed to determine the most active sites of binding of the compound to the target protein. The molecules are connected to the 7EL8 protein, while the free binding energy of thiosemicarbazones is -6.35768 and -6.93039 kcal/mol.

**Keywords:** Spectroscopic, IR-spectra, NMR spectra, DFT, ADMET, PASS analysis, Molecular docking, structure, quantum chemical calculation, HOMO, LUMO, molecular orbital.

### References

1. Przybylski P., Huczynski A., Pyta K., Brzezinski B., Bartl F. Biological Properties of Schiff Bases and Azo Derivatives of Phenols // Current Organic Chemistry. - 2009. - Vol. 13, № 2. - P. 124-148. <https://doi.org/10.2174/138527209787193774>.
2. Beraldo H., Gambino D. The Wide Pharmacological Versatility of Semicarbazones, Thiosemicarbazones and Their Metal Complexes // Mini-Reviews in Medicinal Chemistry. - 2004. - Vol. 4, № 1. - P. 31-39. <https://doi.org/10.2174/1389557043487484>.
3. Afrasiabi Z., Sinn E., Lin W., Ma Y., Campana C., Padhye S. Nickel (II) complexes of naphthaquinone thiosemicarbazone and semicarbazone: Synthesis, structure, spectroscopy, and biological activity // Journal of Inorganic Biochemistry. - 2005. - Vol. 99, № 7. - P. 1526-1531. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2005.04.012>.
4. Hall I.H., Wong O.T., Chapman J.M. Cytotoxicity of imides-N-alkyl semicarbazones, thiosemicarbazones, acetylhydrazones and related derivatives // Anti-cancer drugs. - 1995. - Vol. 6, № 1. - P. 147-153. <https://doi.org/10.1097/00001813-199502000-00017>
5. Bendi A., Yadav P., Saini K., Singh Bhathiwal A., Raghav N. A Comprehensive Examination of Heterocyclic Scaffold Chemistry for Antitubercular Activity // Chemistry & Biodiversity. - 2024. - Vol. 21, № 5. - P. e202400067. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400067>.

6. Yakan H., Muğlu H., Türkeş C., Demir Y., Erdoğan M., Çavuş S., Beydemir Ş. A novel series of thiosemicarbazone hybrid scaffolds: Design, synthesis, DFT studies, metabolic enzyme inhibition properties, and molecular docking calculations //Journal of Molecular Structure. – 2023. – Vol. 1280. – P. 135077. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135077>
7. Bisceglie F., Bacci C., Vismarra A., Barilli E., Pioli M., Orsoni N., Pelosi G. Antibacterial activity of metal complexes based on cinnamaldehyde thiosemicarbazone analogues //Journal of inorganic biochemistry. – 2020. – Vol. 203. – P. 110888. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.110888>
8. Umarov B. B. Complex compounds of some transition metals with bis-5-hydroxypyrazolines. Dis... Doct. chem //Science. Tashkent: IU AN RUz. – 1996. [in Russian]
9. Eçlence-Bakır S., Sacan O., Şahin M., Yanardag R., Ülküseven B. Dioxomolybdenum(VI) complexes with 3-methoxy salicylidene-N-alkyl substituted thiosemicarbazones. Synthesis, characterization, enzyme inhibition and antioxidant activity //Journal of Molecular Structure. - 2019. - Vol. 1194. - P. 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.05.077>
10. Avezov K.G., Yakimovich S.I., Umarov B.B. et al. Nickel(II) Complexes Based in Products of Condensation of Aroyl-(perfluoroacyl)methanes with Benzoylhydrazine // Russian J. of Coord. Chem.- 2011.- Vol. 37, No 4.- P. 275–280. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070328411030018>
11. Umarov B.B. et al. Synthesis and crystal structure of nickel (II) complex based on 2-trifluoroacetyl cycloalkanone benzoylhydrazones //Russian Journal of Coordination Chemistry. – 2014. – Vol. 40. – P. 473-476. <http://dx.doi.org/10.1134%2FS1070328414070094>
12. Umarov B., Kuchkarova R., Kodirova S. Reaction of 1,1,1-trifluoromethyl-4-phenylbutanedione-2,4 with benzoic acid hydrazide // Information technology in industry. – 2021. – Vol. 9, №. 3. – P. 939-944.
13. Avezov K.G., Umarov B.B. Sintez, IK I JaMR spektroskopija kompleksov nikelja(II) na osnove benzoilgidrazonov 2-perftoracilcikloalkanonov [Synthesis, IR and NMR spectroscopy of nickel(II) complexes based on benzoylhydrazones of 2-perfluoroacylcyclo-alkanones]. // Universum: chemistry and biology, (12), 45-49 (2016). [in Russian]
14. Kholikova G.K., Murodova S.B., Avezov K.G. Sintez i IK-spektroskopija kompleksnyh soedinenij vanadila(II) na osnove benzoilgidrazonov aroiltrifloracetilmetanov [Synthesis and IR spectroscopy of vanadyl(II) complex compounds based on benzoylhydrazones of aroyltrifluoroacetylmethanes] // Scientific progress. 1(4), 243-248 (2021). [in Russian]
15. Mardonov U. et al. Sintez i JePR spektroskopija kompleksov medi(II) i vanadila(II) s benzoilgidrazonami 2-trifloracetilcikloalkanonov [Synthesis and EPR spectroscopy of copper(II) and vanadyl(II) complexes with benzoylhydrazones of 2-trifluoroacetyl cycloalkanones] Chugaevskaja konferencija po koordinacionnoj himii [Chugaev Conference on Coordination Chemistry]. 416-417 (2005). [in Russian]
16. Frisch M.J., Nielsen A.B. Gaussian 03 Programmer's Reference. Gaussian, 2003.
17. Hincok J., Frisch M. J. Gaussian 09: I/Os Reference. – Wallingford, CT, USA: Gaussian, 2009.
18. Ganiev B., Mardonov U., Kholikova G. Molecular structure, HOMO-LUMO, MEP - - Analysis of triazine compounds using DFT (B3LYP) calculations // Materials Today: Proceedings. - 2023. - P. S2214785323048733. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.191>.
19. Shukurullaevich G. B. Studies of global descriptors and reactivity of cyanuric acid semicarbazone using DFT //Journal of science, research and teaching. – 2023. – Vol. 2, №. 5. – P. 124-133.
20. Tursunov M.A. et al. <sup>1</sup>H NMR spectra and crystal structure of the nickel(II) complex with ethyl 5,5-dimethyl-2,4-dioxohexanoate aroylhydrazones //Russian Journal of Coordination Chemistry. – 2017. – Vol. 43. – P. 93-96. <https://doi.org/10.1134/S1070328417020087>
21. Butyrskaya E.V. Komp'yuternaja himija: osnovy teorii i rabota s programmami [Computer Chemistry: Fundamentals of Theory and Working with Gaussian and Gaus Veiv Programs]. (Moscow, Salon-Press, 2011, 224 p.) [in Russian].
22. Allouche A. R. Gabedit—A graphical user interface for computational chemistry softwares //Journal of computational chemistry. – 2011. – Vol. 32, №. 1. – P. 174-182. <https://doi.org/10.1002/jcc.21600>
23. Bitencourt-Ferreira G., de Azevedo W. F. Molecular docking simulations with ArgusLab //Docking screens for drug discovery. – 2019. – P. 203-220. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9752-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9752-7_13)

24. Jejurikar B.L., Rohane S.H. Drug designing in discovery studio. 2021. 135-138. <http://dx.doi.org/10.5958/0974-4150.2021.00025.0>
25. Adasme M. F. et al. PLIP 2021: Expanding the scope of the protein–ligand interaction profiler to DNA and RNA //Nucleic acids research. – 2021. – Vol. 49, №. W1. – P. W530-W534. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab294>
26. Molinspiration Chemoinformatic Software: <https://www.molinspiration.com/>
27. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // Scientific Reports. - 2017. - Vol. 7, № 1. - P. 42717. <https://doi.org/10.1038/srep42717>.
28. Avezov Q.G., Umarov B.B., Ganiyev B.Sh., Xoliqova G.Q., Ergashova B.Z. 2-trifloratsetiltsikloalkanon benzoilgidrazonlarining ADMET biofaollik ko`rsatkichlari. "Supramolekulyar kimyoning yutuq va istiqbollari" mavzuidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani. 15 may. Toshkent. 2024. - P. 66-68
29. Filimonov D. A. et al. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the PASS online web resource //Chemistry of Heterocyclic Compounds. - 2014. - Vol. 50. - P. 444-457. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs10593-014-1496-1>
30. <https://youtu.be/DdMElO1J7lQ>
31. Paul P. et al. Unusual chemical transformations of acetone thiosemicarbazone mediated by ruthenium: C–H bond activation, thiolation, and C–N bond cleavage // RSC Advances. - 2014. - Vol. 4, №. 3. - P. 1432-1440. <http://doi.org/10.1039/C3RA44329A>
32. Kpomah B. et al. Metal Complexes of acetone thiosemicarbazone: synthesis, spectral characterization and pharmacological studies // Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry. – 2016. – Vol. 2, №. 2. – P. 34-40. <http://doi.org/10.18576/jpac/020203>
33. Anoop M.R., Binil P.S., Suma S., Sudarsanakumar M.R., Varghese H.T., Panicker C.Y. Vibrational spectroscopic studies and computational study of ethyl methyl ketone thiosemicarbazone. //Journal of Molecular Structure. – 2010. – Vol. 969, №. 1-3. – P. 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.01.041>

#### Сведения об авторах:

**Аvezов Кувондик Гиёсович** – PhD доктор естественных наук по направлению «Химия», ассистент кафедры «Химия и нефтегазовые технологии», Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан.

ORCID 0000-0002-1299-7229.

**Ганиев Бахтиёр Шукуруллоевич** – PhD доктор естественных наук по направлению «Химия», ассистент кафедры «Химия и нефтегазовые технологии», Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан.

ORCID 0000-0001-8151-1088.

**Холикова Гуляйра Кулдошевна** - базовый докторант, ассистент кафедры «Химия и нефтегазовые технологии», Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан.

ORCID 0000-0001-5625-3347

**Тухтаева Мафтуна Одил кизи** - магистрант кафедры «Химия и нефтегазовые технологии», Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан.

ORCID 0009-0000-8228-4200

**Avezov Kuvondik Giyosovich** - PhD Doctor of Natural Sciences in the direction of "Chemistry", Assistant of the Department of "Chemistry and Oil and Gas Technology", Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

ORCID 0000-0002-1299-7229.

**Ganiyev Bakhtiyor Shukurulloevich** – PhD Doctor of Natural Sciences in the direction of "Chemistry", Assistant of the Department of "Chemistry and Oil and Gas Technology", Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

ORCID 0000-0001-8151-1088.

***Kholikova Gulyayra Kuldoshevna*** - basic doctoral student, assistant of the department of “Chemistry and Oil and Gas Technology”, Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

ORCID 0000-0001-5625-3347

***Tukhtaeva Maftuna Odil kizi*** - master's student of the department of “Chemistry and Oil and Gas Technology”, Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

ORCID 0009-0000-8228-4200



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).





IRNTI 31.21.19

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-26-56>

Review

## Evolution of urea from prebiotic molecule to supramolecular architecture

A.A. Bakibaev



National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

(E-mail: bakibaev@mail.ru)

**Abstract.** The article shows that urea - as an archetypal prebiotic compound on the one hand, and reactive oxygen-containing compounds - on the other hand, serve as a basis for the formation of an extensive repertoire of chemical compounds, which are represented by various acyclic and heterocyclic carbamide-containing substances. Among the urea-containing substances, this paper pays special attention to using the prebiotic monomer urea as a starting building block in synthetic organic chemistry, including novel macrocyclic and supramolecular systems. Although most of the urea chemistry experiments performed have been conducted under conditions that are far from prebiotic-like states - some intermediate results of the studies performed open the way for the trajectory of the formation of complex nitrogen-containing organic molecules that may emerge from the iterative assembly of urea and reactive components. The proposed work draws considerable attention to various practical applications of acyclic and heterocyclic urea. Among the numerous valuable acyclic and heterocyclic ureas, the most important substances that have found useful applications in human life are highlighted separately. The summarised information on the chemistry and applications of urea indicates its continuous development by the convergence of knowledge in chemistry, physics, materials science and medicine.

**Keywords:** urea, prebiotics, evolution, acyclic and heterocyclic urea-containing substances, glycoluriles, cucurbituriles, bambusuriles, supramolecular systems.

Received: 18.11.2024. Accepted: 03.12.2024. Available online: 31.12.2024.

### Introduction

The edge of the observable Universe is 46.5 billion light-years away. According to astrophysicists, this vast space includes, according to various estimates, from 200 billion to 2 trillion galaxies. And each galaxy contains, on average, about 100 billion stars. Because the birth of chemical elements is one of the main functions of stars, it is not easy to imagine the number

of these elements and their combinations due to nuclear reactions. Nuclear fusion of helium is considered the beginning of all natural reactions, the root cause of life, light, heat and meteorological phenomena on Earth. The original building blocks of the material world were hydrogen and helium, the lightest elements in the Mendeleev table. But today, our universe is a rich and diverse world, populated by countless atoms and molecules, diversified by their interaction through bizarre combinations that result in complex chemical compounds that define life on our planet.

The main question facing astrochemistry is: how far can the synthesis of complex molecules go in outer space? The answer to this question has direct relevance to the problem of the origin of life on Earth. A fundamental question in the research on the origin of life and astrochemistry concerns the actual processes that initiate the diversity of chemical compounds. Some answers to this problem are found in the most plausible description of the processes of transformations of substances compatible with environments probable to Earth during the origin of life, as well as in cosmic conditions. Many simple and complex organic compounds have been found in space objects. A few examples are hemolithin, a protein containing iron and lithium found in the meteorite Acfer 086. It's believed to be the first extraterrestrial protein discovered. A large number of organic inclusions were found in the Murchison meteorite-nucleic bases [1], amino acids, with L- enantiomers predominating [2].

In the Murchison meteorite and in meteorite NWA 801 (Morocco) it was possible to find about 10 carbohydrates [3]. These findings are interpreted by some scientists as evidence that organic compounds brought from space by meteorites could have been involved in the origin of life on Earth [4]. More than 50 stable organic molecules have been found in the interstellar medium, based on astronomical observations, in both the gas and solid phases [5]. There is a view that some of these organic substances eventually ended up on the early Earth under the influence of cosmic factors, which contributed to the origin of life on our planet.

On the other hand, there is an equally valid alternative path to the origin of life on Earth. Thus, chemists from Harvard University during experiments to simulate lightning strikes in the conditions of the "early Earth" found that during this process, carbon and nitrogen could be converted into important molecules, for example, carbon monoxide, nitrite, ammonium salts, formic acid and other compounds. It is believed that these compounds, formed through a series of chemical reactions, may have played a key role in the formation of life on Earth. Although, the reader may say - why invent mechanisms for synthesizing complex pre-organic compounds on Earth, since they were already present in our planetary system initially. But, such point of view leads the reader away from the scientific understanding of the problem of the origin of life on Earth. To test the hypothesis that the interaction of certain molecules triggers chemical reactions that lead to the formation of amino acids and other biotic compounds conducted scientific research using the program Allchemy. As it turned out, for the emergence of life was sufficient for the presence of molecules of water, nitrogen, hydrogen sulfide, ammonia and cyanide, which the researchers believe a priori at the time of the origin of life was present on Earth. The Allchemy program also identified new pathways for the prebiotic synthesis of organic compounds such as glycine, acetaldehyde, malic, fumaric, citric and uric acids. In 2024, Chinese scientists exposed glycine to gamma radiation to produce glycine from methane, oxygen, water and ammonia, molecules commonly found in space [6].

Based on the results of these studies, one can easily construct a chemical trajectory of urea formation from glycine, which in turn, with the participation of simple carbonyl compounds, is quite simply transformed into various nitrogen-containing acyclic and heterocyclic compounds, including urea or uric acid.

The most likely astronomical sources of urea and related compounds are photoprocesses occurring in outer space and bodies. Modeling of this kind of photochemistry using a condensed

methanol-ammonia ice mixture irradiated with UV light at 80 K revealed the formation of, among other things, urea, glycolic acid, and glycerol in a nonvolatile organic residue [7].

This paper shows that the reactions of urea - as an archetypal prebiotic substance - and reactive oxygen- containing compounds lead to an extensive range of chemical compounds, which are represented by various acyclic and heterocyclic nitrogen-containing compounds. The material outlined herein covers the application of urea, the first artificial prebiotic molecule, as a synthon to form an extensive molecular repertoire that can be composed of rather trivial condensation of urea and oxygen-containing substrates, probable astrochemical and prebiotic molecules. Although most of the urea chemistry experiments performed have been conducted under conditions that are far from prebiotic-like states - some interim research results shed light on the pathways for the formation of complex nitrogen-containing organic molecules that may emerge from the iterative assembly of urea and reactive components.

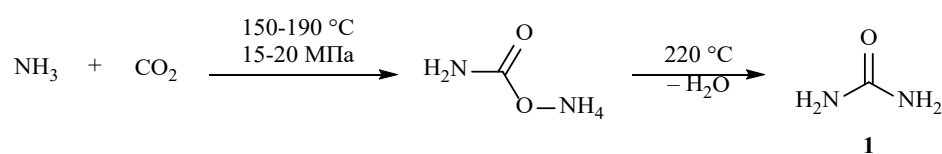
In view of the above, this work demonstrates the use of prebiotic urea monomer as a building block in synthetic organic chemistry, including novel supramolecular systems.

General characterization of urea. Urea is a colorless crystalline substance, odorless, cool to the taste. It dissolves well in polar solvents and poorly in non-polar organic solvents. The melting point of urea under standard conditions is 132.6°C and the density is 1.335g/cm<sup>3</sup>. The bulk density is 0.52-0.62 kg/l. Urea, being a diamide of carbonic acid, although it shows typical properties of amides, but due to the peculiarities of its structure, it shows its own properties leading to the formation of a variety of acyclic and heterocyclic nitrogen-containing compounds. The chemical properties of urea are due to the presence of three reactive groups in its molecule - two amine groups and one carbonyl group. However, the C=O group has low reactivity and does not enter into reactions characteristic for C=O groups of ketones. This is explained by the fact that the C=O group of urea has a partial rather than a full double bond, due to the conjugation of its  $\pi$ -electrons with unshared pairs of nitrogen electrons occupying 2p-orbitals. Urea crystals belong to tetragonal syngony, space group P421m, Z=2, a=5.645 Å, b=5.645 Å, c=4.704 Å. The bond lengths of C-O, C-N and N-H are 1.26 Å, 1.34 Å and 0.77 Å, respectively, the valence angles of N-C-O and N-C-N are 121° and 133.1. The C=O bond length in urea is longer than in ketones, and the C-N bond length is shorter than in amines (Table 1) [8].

**Table 1. Comparative lengths of carbon-oxygen and carbon-nitrogen bonds in organic compounds of different classes**

Carbon- oxygen bonding	Length, Å	Carbon- nitrogen bonding	Length, Å
C=O	1.26 (urea)	C-N (urea)	1.34
C=O	1.21 (ketones)	C=N (imines)	1.27
C-O	1.43 (alcohols)	C-N (amines)	1.47

Currently, in industry, urea is synthesized from NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> according to a two-step process: through the exothermic formation of ammonium carbamate ([NH<sub>4</sub>]<sup>+</sup>+H<sub>2</sub> NCOO<sup>-</sup>) from liquid ammonia and carbon dioxide, followed by endothermic decomposition of ammonium carbamate, which produces urea and water (Figure 1).



**Figure 1. Urea production scheme**



The current scale of urea production is approximately 100 million tons per year, with more than 90% of the production destined for use as fertiliser [9,10].

## Literature review

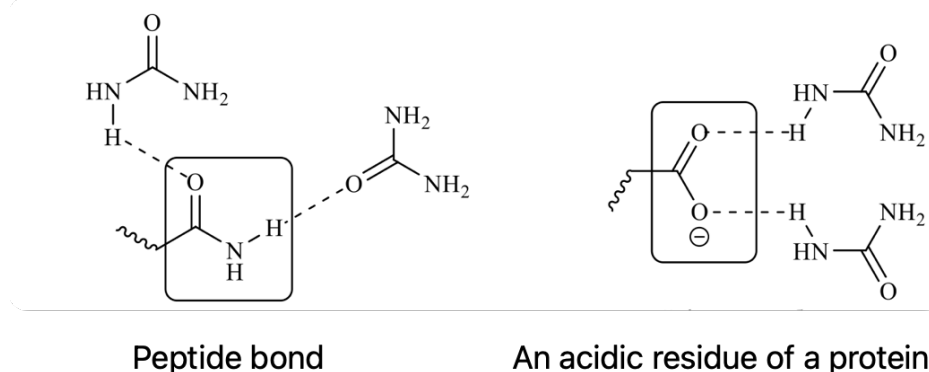
### Effect of urea on biochemical processes in the body.

The presence of the urea fragment in many drugs, in metabolic products of nitrogen-containing compounds and in many biologically important natural compounds (enzymes, nucleotides, vitamin B13) makes it a subject of increased interest in biochemistry.

Urea is the most important product of nitrogen metabolism, the end product of amino acid metabolism. Urea is synthesized from ammonia, which is constantly formed in the body during oxidative and non-oxidative deamination of amino acids, during hydrolysis of glutamic and asparagic acid amides, as well as during the breakdown of purine and pyrimidine nucleotides. Part of ammonia is formed in the intestine as a result of the action of bacteria on food proteins (protein putrefaction in the intestine) and enters the blood of the portal vein [11]. In mammals, the main pathway responsible for the removal of these products is the synthesis of urea in the liver in the so-called ornithine cycle. The largest amount of ammonia formed in the body is used for the synthesis of urea, which is excreted with urine as the main end product of protein metabolism in humans and animals. In the liver, its activity is strictly controlled to maintain the concentration of ammonia in the liver within strictly defined limits. This makes it possible to exclude the entry of ammonia into the systemic bloodstream, since an increase in its concentration in blood plasma leads to impaired function of the central nervous system [12]. In the process of evolution, living organisms have developed different types of nitrogenous metabolism. This is the ammoniotelic type, in which the main end product of nitrogen metabolism is ammonia; it is characteristic mainly of fish. In the ureotelic type of metabolism, the main end product of protein metabolism is urea; this type is characteristic of humans and animals. Uricotelic type is characteristic of birds and reptiles; the main end product of this type of metabolism is uric acid [13]. Nitrogen balance in the body is regulated by the production of urea [15].

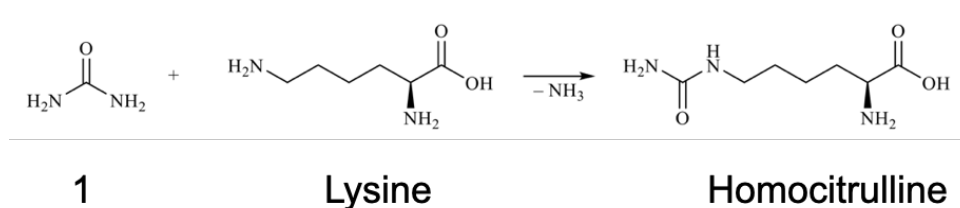
One of the most important aspects of the manifestation of urea properties is its induced denaturation of proteins in aqueous solutions [15] and chiral recognition of amino acids by urea-based receptors [16].

Concentrated (6-8 M) aqueous solutions of urea are usually used in protein denaturation. The urea molecule mimics a peptide bond and is able to act both as a donor and an acceptor of hydrogen bonds, competing with peptide and other functional groups of the protein that form a developed system of hydrogen bonds in native form (Figure 2).



**Figure 2. Schemes of formation of hydrogen bonds of urea with proteins**

Protein denaturation is often accompanied by damage to covalent bonds. For example, prolonged urea action at elevated temperatures can lead to carbamoylation of the  $\text{NH}_2$ -group of lysine (Figure 3):

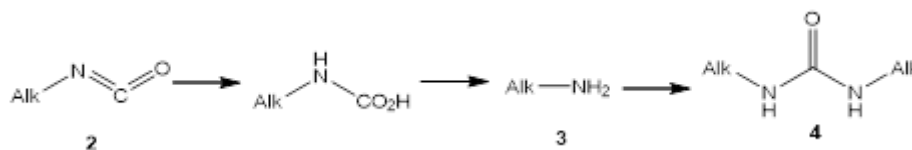


**Figure 3. Scheme of carbamoylation of  $\text{NH}_2$ -group of lysine**

Urea has low lipid solubility and consequently low permeability through artificial lipid bilayers ( $4 \times 10^{-6}$  cm/s), which lack any transport proteins to facilitate its transport. In clinical practice, urea plays an important role in laboratory diagnosis and is of great renal importance. Blood urea nitrogen (BUN) analysis is commonly used to measure the amount of nitrogen from urea in the blood. It assesses kidney function and indicates kidney health [17]. Elevated blood AMK indicates impaired renal function and is associated with many factors: Urea plays an important role in neuropsychiatry, and AMK is considered a biochemical indicator of delirium in emergency and intermediate care units [18]. In humans, urea can be excreted with sweat, tears, saliva, and digestive fluid (faeces) [19].

**Methods of urea synthesis.** The existing methods for the preparation of urea, which have found practical and preparative applications, are overwhelmingly based on the transformation of amines under the action of nitrogen-containing (isocyanates, cyanates, urea) or carbonylating (phosgene, CO) reagents [20-27]. Comparatively rare are methods of direct transformation of urea with preservation of urea skeleton (alkylation, acylation, phosphorylation, *etc.*) or Hoffmann rearrangement from amides. The most common methods for the preparation of urea, depending on the substrates and reagents used, will be discussed below, and the pathways for the formation of the urea fragment of the molecule, which are rarely used in synthetic practice, will be shown.

**Isocyanate method.** Methods of synthesis of substituted urea by transformations of alkylisocyanates under the action of water are essentially the first examples, when 1,3-disubstituted alkylureas, the formation of which occurs according to the scheme in Figure 4, were obtained:



**Figure 4. Scheme for production of substituted urea**

Although urea synthesis from isocyanates was first carried out more than 160 years ago, this method is still relevant today. Due to its preparative simplicity and good yields, the reaction of organic isocyanates with amines remains the most popular method for the preparation of asymmetric urea, including their chiral derivatives. Over the last ten years, the isocyanate method has been used in the synthesis of aryl-ketarylureas, which are characterized by a variety of practically useful properties, di- and trisubstituted adamantylureas, triterpene ureas, macrolides, ureidopeptides, *etc.* At the same time, it is recognized that the main limitation of this method is the relative inaccessibility of starting organic isocyanates. Often, the direct synthesis of urea is preceded by a rather laborious multistep synthesis of the corresponding amines and/or organic isocyanates.

Phosgenation of amines. By interaction of phosgene with primary and secondary alkyl-, arylalkyl- and arylamines, only symmetrical 1,3-disubstituted ureas are obtained. The history of this method goes back to the 19th century, when in 1849 Hoffmann first synthesized 1,3-diphenylurea by passing phosgene through a saturated aqueous solution of aniline (Figure 5):

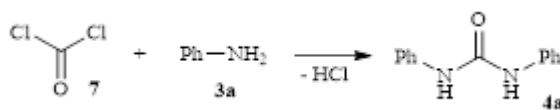


Figure 5. Scheme of diphenylurea synthesis

The process of phosgenation of amines is well enough investigated, details of the mechanism are revealed, its high efficiency for synthesising symmetric urea is shown. But, it should be noted, high toxicity and low selectivity of phosgene imposed its limitations on its application.

In recent years, the use of bis-electrophilic analogs of phosgene has become one of the methods of improving the methods of synthesis of 1,3-disubstituted urea. Thus, bis(trichloromethyl)carbonate proved to be excellent for realization of this kind of reaction, and the synthesis with its participation was carried out on a liquid-phase polymeric carrier. Sufficiently attractive synthetic analog of phosgene in the preparation of urea turned out to be low-toxic and fusible ethylene carbonate. The proposed method allows to obtain unsymmetrical urea as well. Another method of urea synthesis was proposed by the authors of the work, where the high synthetic potential of carbamoylimidazolium salts, which can be considered as urea derivatives, was used. The high ability to substitute the imidazolium fragment in reactions of secondary amines with the salts was used for the synthesis of a large number of tetrasubstituted urea, as well as carbamates and amides. It is important to emphasize the mechanistic and simplicity of the approach, which includes the possibility of diversifying the nucleophiles used and automating the isolation process. Considering the comparative simplicity of synthesis and availability of carbamoylimidazolium salts, to date, this method of urea synthesis can be considered as the most efficient and promising. Recently, 1,1'-carbonyldi(benzotriazole) was successfully used in the solid-phase synthesis of asymmetric ureidodicy acids containing two different amino acid residues. To purify the products from benzotriazole impurity, its extraction with borate buffer solution (pH 9.2) was proposed.

**Reactions of amines with alkali metal cyanates.** The first synthesis of substituted urea from alkylamine sulfate with potassium cyanate was carried out by Wurtz in 1851 (Figure 6):



Figure 6. Scheme of synthesis of monosubstituted urea

This cyanate method was further extended to a wide range of amines. A modification of the cyanate method for preparing substituted urea is the interaction of alkyl halides (chlorides, bromides) with alkali metal cyanate in aqueous solutions. Despite the ease of realization of carbamoylation reactions of amines when working with alkali metal cyanates, the main limiting condition for the process is the high toxic properties of these compounds.

**Reactions of amines with urea.** The interaction of urea with amines in melt or in solutions is one of the popular and convenient methods for the synthesis of a wide variety of urea (Figure 7). Both amines and their salts in the form of hydrochlorides, sulfates or phosphates are used as condensing reagents. The procedure for the preparation of substituted urea is usually the heating of a mixture of urea and amines at temperatures of 150-180°C, resulting in a mixture

of products consisting of mono- and 1, 3- disubstituted urea, the composition of which is regulated mainly by the molar ratio of the reagents and, to a lesser extent, by other reaction conditions.

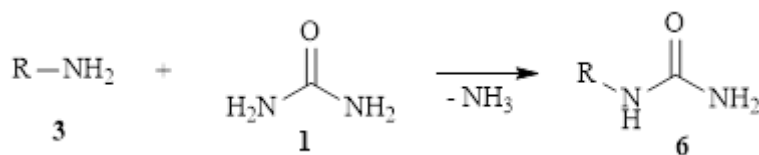


Figure 7. Scheme of reaction of urea with amines

By varying the ratio of amine and urea, this process can be directed either toward the preferential formation of monosubstituted urea or 1,3-disubstituted urea. Sometimes, to accelerate the process and increase the yield of target products, the interaction of urea with amines is carried out in high-boiling solvents -decalin, phenol, cyclohexanol. Modification of the above method by using nitrourea in aqueous or aqueous-alcoholic medium instead of urea allows to carry out reactions with amines under mild conditions. This process is convenient because the nitramide formed during the decomposition of nitrourea under the conditions of synthesis irreversibly decomposes into water and nitrous oxide, thereby shifting the equilibrium towards the formation of isocyanic acid, which of course determines the obtaining of the corresponding urea. This method has advantages over other methods given above in that it does not require working with highly toxic substances such as KCN, isocyanates, pyridine; it is characterized by simplicity of carrying out and apparatus design; yields of final products are not lower than in other methods.

Thus, aminolysis of urea with amines of various structures allows to synthesize symmetric and asymmetric ureas, and in some cases serve as a good method of identification of liquid and oil-like amines in the form of crystalline ureas. Reaction of urea with amines for identification of the latter is convenient because the resulting N-substituted ureas are well crystallized and easily analyzed by traditional methods

**Other methods of urea synthesis.** In addition to the above methods, there are other methods for the preparation of N-substituted urea, which are fundamentally different from those discussed earlier and rely on the chemical properties of urea. Among these methods the processes of condensation of urea with formaldehyde in aqueous alkaline, which lead to methylol- and dimethylolurea, which are the initial products for obtaining urea resins, stand out.

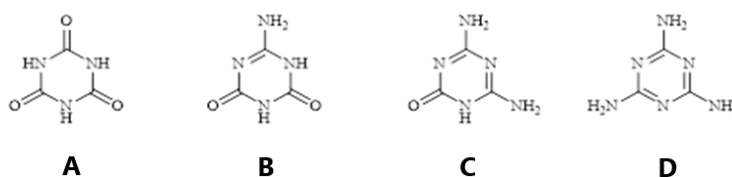
Aldehydes and ketones with urea under hydrogen pressure in the presence of nickel and cobalt catalysts give the corresponding N-alkyl- and N, N-dialkylureas in satisfactory yields (reaching 75-77%). The process is generally carried out at temperatures of 60-150°C, with monoalkylureas being formed at 60-100°C and dialkylureas at 100-155°C.

One of the attractive but poorly studied methods for the synthesis of N-substituted urea is the alkylation of urea with alcohols. In the preparative practice of N-substituted urea synthesis, there are few examples of direct interaction of alcohols with urea, and those are mainly related to reactions of aliphatic alcohols. There are single data on alkylation of urea with organic halides. The way to organometallic urea (Si, P, Se) passes through the traditional ways of urea preparation in which the corresponding element-containing reagents and substrates are used.

The above methods of urea synthesis have opened the way to the synthesis of a large number of nitrogen-containing acyclic and heterocyclic compounds.

**The most important urea-containing heterocycles.** Cyanuric acid, 1,3,5-triazine-2,4,6-trione A, is almost the main representative of azaheterocycles containing three nitrogen atoms and synthesized on the basis of urea (Figure 8). Due to its unique properties, it is widely used

in various industries. Cyanuric acid is obtained mainly by pyrolysis of urea in organic solvents, in a fluidized bed on the surface of metals. However, during pyrolysis of urea, along with cyanuric acid A, related triazines - ammelid B, ammelin C, melamine D-amination products of cyanuric acid are formed, which are of independent practical interest [28].

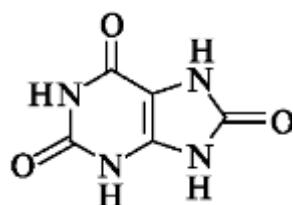


**Figure 8. Structural formulas of cyanuric acid A, ammelide B, ammelin C and melamine D**

All of these heterocycles are products of cyclic trimerization of isocyanic acid and/or cyanamide.

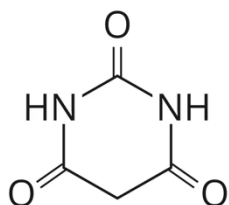
Pyrimidine bases and hydroxypurines.

The methods of preparation of pyrimidinones and hydantoins and their chemical properties are quite well covered in the literature [29-37], the most important ones are given below.

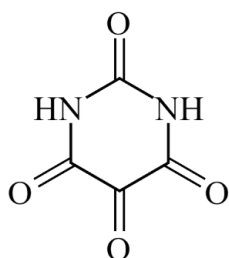


**Uric acid.** It was discovered by Carl Scheele (1776) as part of urinary stones and called by him *acide lithique*, then it was found by him in urine. Uric acid is oxidized to alloxan by nitric acid, under the action of potassium permanganate in neutral and alkaline medium or hydrogen peroxide from uric acid is formed first allantoin, then parabanic acid. I. J. was the first to synthesize uric acid. Gorbachevsky in 1882 by heating glycol (aminoacetic acid) with urea to 200-230°C.

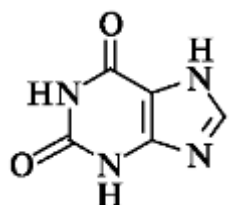
Uric acid is the starting product for the industrial synthesis of caffeine.



**Barbituric acid** - Derivatives of barbituric acid containing alkyl or aryl substituents and their salts are called barbiturates [1]. Barbituric acid was first synthesized by Adolf Bayer in 1864 by condensation of urea with malonic acid [2]. A modern modification of Bayer's synthesis is the use of the diethyl ether of malonic acid in the presence of sodium ethylate. Barbituric acid is used to obtain riboflavin, pyrimidine, violuric acid and uric acid.



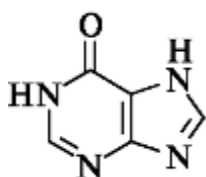
**Alloxan** (mesoxalylurea) is formed by the action of oxidizing agents on uric acid in the presence of free strong acids. Alloxan is formed by introducing uric acid in small portions into cooled concentrated nitric acid or by gradually adding bertolitic salt to the uric acid mixture. The salt solutions decompose on boiling to form mesoxalic acid and urea.



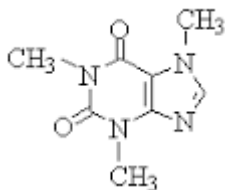
**Xanthine** was synthesized by Armand Gauthier in 1884. The imidazole cycle of xanthine is nucleophilic: xanthine is halogenated to form 8-halogenxanthines, azo-combination with diazonium salts also proceeds to form 8-azoxanthines, which can then be reduced to 8-aminoxanthine or hydrolyzed to uric acid. In neutral medium, xanthine is methylated by dimethyl sulfate on imidazole nitrogen atoms to form a dimethyl derivative of zwitter-ionic structure, depending on the pH of the reaction

mixture, xanthine is methylated to 3,7-dimethyl-xanthine (theobromine), 1,3-dimethylxanthine (theophylline) or 1,3,7-trimethylxanthine (caffeine). Xanthine is reduced by sodium amalgam or zinc in hydrochloric acid to 6-deoxyxanthine; under the action of potassium permanganate in acidic medium xanthine is oxidized with degradation of the imidazole cycle to 2,4,5,6-tetraoxypyrimidine (alloxan). Xanthine is a product of purine catabolism and is formed

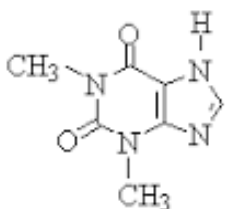
as a product of guanine degradation by guanine deaminase and by oxidation of hypoxanthine by xanthine oxidase. Under the action of the same xanthine oxidase, xanthine is further converted to uric acid. Xanthine derivatives include a number of stimulants such as caffeine and theobromine. Abiogenic xanthine (along with uracil) was discovered in the Murchison meteorite.



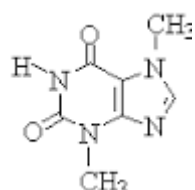
**Hypoxanthine** is a natural derivative of the nitrogenous base purine. It is sometimes found in nucleic acids, where it is present in the anticodon of tRNA in the form of the nucleoside inosine. Hypoxanthine is formed by the reduction of xanthine by the enzyme xanthine oxidoreductase. Hypoxanthine is also a product of spontaneous deamination of adenine.



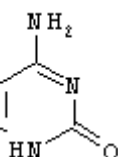
**Caffeine (theine)** is a purine alkaloid found in plants such as coffee, tea, cocoa, Paraguayan holly (yerba mate), guarana, cola and others. In medicine, caffeine is used as a headache remedy, in migraine, as a respiratory and cardiac stimulant in colds, to increase mental and physical performance, to eliminate drowsiness. In industry, caffeine is synthesized from uric acid and xanthine. Traditional synthesis from uric acid consists of 2 stages: the action of formamide on uric acid, resulting in the formation of xanthine. In the 2nd stage, xanthine undergoes methylation with dimethyl sulfate, and depending on the conditions, caffeine and theobromine may be obtained. Caffeine is obtained in a slightly alkaline medium at pH = 8.0-9.0. If methylation occurs in the presence of KOH and methanol at 60-70°C, theobromine is formed. An alternative semi-synthetic method is the heating of uric acid with acetic anhydride in the presence of a catalyst to form 8-methylxanthine. The obtained 8-methylxanthine is methylated, and depending on the reaction conditions, 1,3,7,8-tetramethylxanthine or 3,7,8-trimethylxanthine can be obtained. When 8-methylxanthine is methylated with excess dimethyl sulfate in slightly alkaline medium, 1,3,7,8-tetramethylxanthine is obtained, and when methylated with methyl ester of benzene (toluene)-sulfonic acid (220-230°C in the presence of CaO), 3,7,8-trimethylxanthine (8-methyltheobromine) is obtained. There is also a synthesis from cyanacetic acid and dialkylurea, which is the most economical.



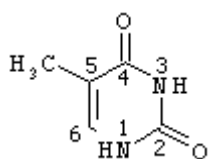
**Theophylline (1,3-dimethylxanthine)** is a methylxanthine, a drug used in the treatment of respiratory diseases such as chronic obstructive pulmonary disease and asthma, available under various trade names. It is a derivative of the xanthine family, structurally and pharmacologically similar to theobromine and caffeine. Theophylline is found in cocoa beans.



**Theobromine** is a purine alkaloid that can be converted into caffeine either by heating to 100°C with methyl iodide, caustic potassium and alcohol, or by precipitation of the silver salt of theobromine with methyl iodide. In medicine, theobromine is used to treat bronchopulmonary diseases. The double salt of theobromine with sodium salicylic acid, known as *diuretin*, is also used.



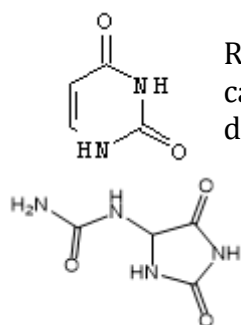
**Cytosine** is a nitrogenous base, a derivative of pyrimidine. Cytosine exhibits basic properties, reacts with alkalis and acids, reacting with nitric acid it is deaminated to become uracil. It enters into photohydration reaction with the formation of cytosine hydrate, attaching water under the action of ultraviolet rays.



**Thymine (5-methyluracil)** is a pyrimidine derivative, one of the five nitrogenous bases. It is present in all living organisms, where together with deoxyribose it is part of thymidine nucleoside, thymine deoxyribonucleotides are part of DNA, in RNA it is replaced by uracil ribonucleotide. Thymine is complementary to adenine, forming hydrogen

bonds with it. According to research, thymine dissipates the energy of ultraviolet radiation, protecting DNA from its damaging effects

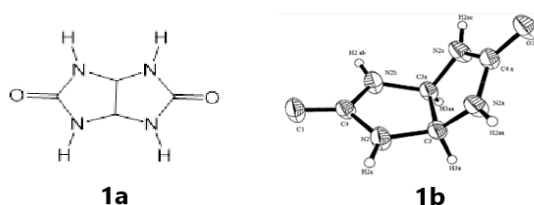
**Uracil(2,4-dioxypyrimidine)-pyrimidine** base, which is a component of RNA and is usually absent in DNA, is part of the nucleotide. In nucleic acids, it can bind complementarily to adenine, forming two hydrogen bonds. First detected in the products of yeast nucleic acid cleavage.



**Allantoin** is a heterocyclic compound, a five-membered cycle containing a carbamide substituent at the 4th position. Allantoin was discovered in the callus of the coffee plant *Coffea Arabica*. Several methods are currently known for the isolation of allantoin from natural raw materials from cell culture of *Coffea arabica* and from leaf explants and apical shoots of *Mertensia maritima*. Allantoin has found wide application as one of the

active components in skin care products, promotes healing of scar tissues and scars, which makes it in demand in cosmetology and pharmaceutical practice. Today allantoin is included in more than 1300 different cosmetic products. The main consumers of allantoin are manufacturers of cosmetic products, as well as enterprises of the pharmaceutical industry, which use it as a raw material for the production of drugs for the treatment of various diseases. In addition, allantoin is used in agriculture, as a plant growth regulator, as part of fertilizers and veterinary disinfectants.

**Glycoluriles.** In the chemistry of heterocyclic compounds, bicyclic bisurea(BBM) occupy a special place, among which 2,4,6,8-tetraazabicyclo[3.3.0.]octane-3,7- dione 1 (glycoluril) (Figure 9) and its derivatives are of the greatest interest.[38-48]. The history of glycoluril chemistry dates back to the second half of the 19th century, when a number of researchers succeeded in synthesizing the progenitor of this class of compounds. The first report on the synthesis of glycoluriles was made by Schiff in 1877. Since then, the chemistry of glycoluriles, primarily due to the polyfunctionality of their structure, has undergone rapid development, which is reflected in the creation of valuable substances based on them in various spheres of human activity: disinfectants, drugs, stabilizers of polymers, independent explosives or their components and other important substances and materials.



**Figure 9. Structural formula of glycoluril 1 (1a) and its spatial configuration in the crystal (1b)**

As can be seen from Figure 9, the glycoluril molecule is non-flat. It looks like a "half-open" book, which mainly determines its tendency to form macrocyclic compounds with different number of glycoluril links. Glycoluril is a polyfunctional compound in which the urea fragment (Figure 9) essentially determines the properties of the molecule, which are due to the presence of two reaction centers in the molecule (4 donor groups (-NH) and 2 acceptor groups (C=O)). Glycoluril has the properties of a very active n- nucleophile and an essentially deactivated p- nucleophile. It enters into N-alkylation, N-acylation, N-halogenation, N- nitration, N-nitrosation, N-hydroxyalkylation, etc. reactions. However, the presence of the bond (NH-C=O) with the electron acceptor carbonyl group makes it less reactive base, therefore, it is difficult to protonate, and its products formed as a result of electrophilic attack on the nitrogen atom are prone to decomposition, and the weak electrophilic properties of the carbonyl group, due to the

influence of two unshared pairs of electrons from nitrogen atoms, which compensate for the electron acceptor effect of the carbonyl group.

Many synthesis methods have been developed during the study of bicyclic bisurea (BBM), where one of the most convenient is the method for the preparation of glycoluriles based on urea and  $\alpha$ -dicarbonyl compounds (Figure 10). Molecules of glycoluril derivatives with different number of substituents on N-, C- atoms can be synthesized both directly and by further modification of glycoluril itself. Due to the valuable properties of HBMs, methods of their synthesis using urea are constantly being improved. Classification of PMBMs, provides consideration of structural units, which are characterized by the size of cycles and methods of their joining[49]:

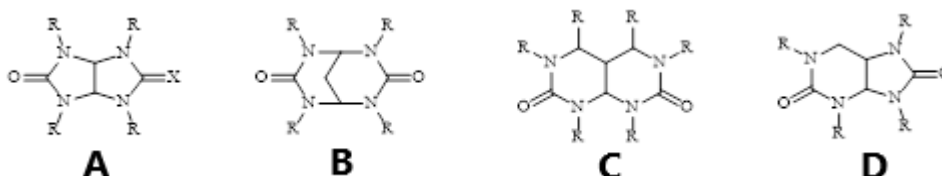


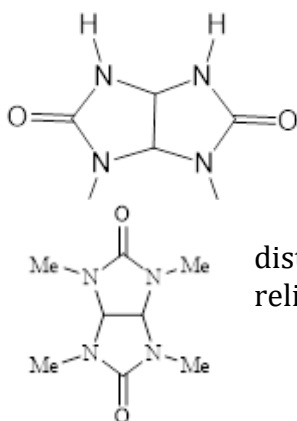
Figure 10. Bicyclic bisurea bisoureas of octane A, nonane B and decane series - C and D

The above-mentioned PMs contain octane, nonane and decane skeletal bases in their structure. Bicyclooctane-type PBMs are synthesized by reaction of 1,2-diketones,  $\alpha$ -hydroxyketones,  $\alpha$ -ketomonooximes and  $\alpha$ -isonitrosoketones with urea, mainly under acid catalysis conditions. The octane series PBMs can be prepared in a stepwise manner. Initially, 4,5-dihydroxyimidazolidin-2-ones are synthesized from the corresponding 1,2- bifunctional compounds (usually from 1,2-dicarbonyl compounds) and urea, which are then cyclized with urea. The advantage of the stepwise synthesis of BBMs is that this approach allows to obtain BBMs of asymmetric structure. BBMs of bicyclononan series are synthesized by reaction of 1,3-dicarbonyl compounds or their analogs with ureas. BDMs of bicyclodecane series are usually synthesized from preliminarily obtained ureidopyrimidines or by interaction of the latter with aldehydes.

Methods for the synthesis of glycoluriles are constantly evolving, since they are not only of independent interest as biologically active compounds, but also are precursors for obtaining a large number of compounds with practically significant properties.

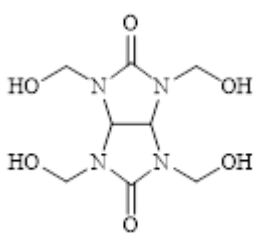
#### Practically valuable glycoluril-based substances.

Glycoluril has found industrial application as a slow-release agent, are also versatile precursors of polycyclic ring systems.

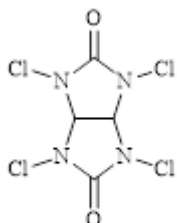
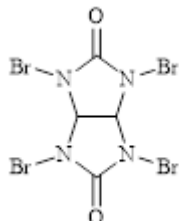


**Mebicar** is a daytime tranquilizer of wide application, It regulates disturbed night sleep without having a direct sleeping effect. Eases or relieves nicotine withdrawal.

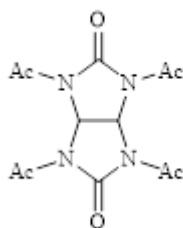




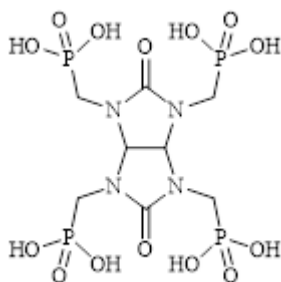
**Tetrahydroxymethylglycoluril** - used as a cross-linking agent in the preparation of glycoluril-formaldehyde resins and high-quality thermosetting coatings. It is used in the manufacture of negative-type photoresistors, is a stabilizer of water-based dyes, is used in the synthesis of supramolecular objects, and as a bactericidal agent of aqueous compositions.



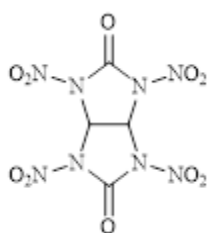
**Halogen derivatives** of glycoluril - find wide application as oxidizing agents, halogenating agents, disinfectants, bleaching agents, detergents, have bactericidal activity, which depends on the type of halogen.



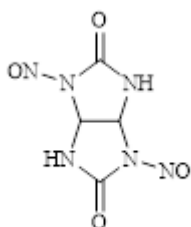
**Tetraacetylglycoluril** is a bleaching activator in synthetic detergents, a mild reagent for intermediate protection by acetyl group of biogenic substances (alcohols, sulfides, amines, enzymes) in order to preserve the configuration and optical orientation of the original molecules.



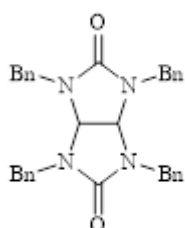
**Tetrakis(methylene phosphoric acid)glycoluril** is an efficient catalyst for the synthesis of azagetherscycles



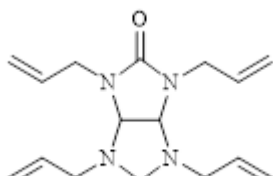
**Tetranitroglycoluril** - used in mixtures with high-energy explosives, as a component of propellants and gunpowder, booster charge and intermediates of other explosives.



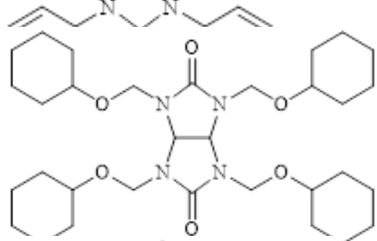
**Dinitroglycoluril** - an efficient polymer pore former.



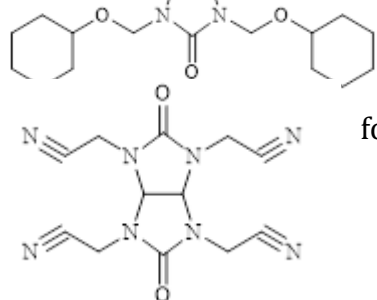
**Tetrabenzylglycoluril** - an effective stabilizer for polymeric materials.



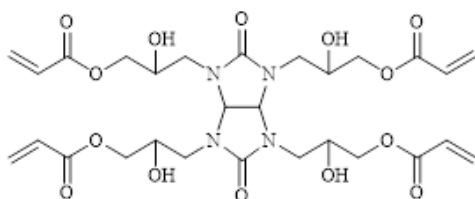
The new functional polymer was prepared by copolymerization of 4-vinylpyridine and **1, 3, 4, 6-tetraallylglycolsulfuryl**



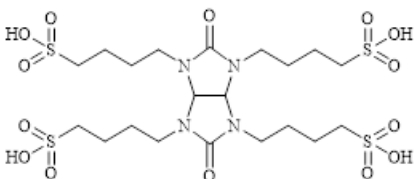
Included in an antireflective coating composition for use with a photoresistor coating.



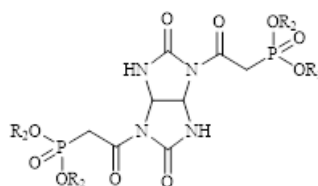
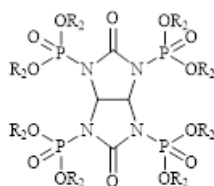
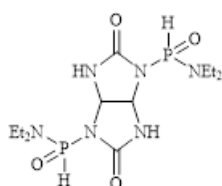
**Tetra (2-cyanoethyl) glycoluril** is a convenient synthon for the preparation of novel macrocyclic compounds.



A convenient synthon for the preparation of new macrocyclic compounds.

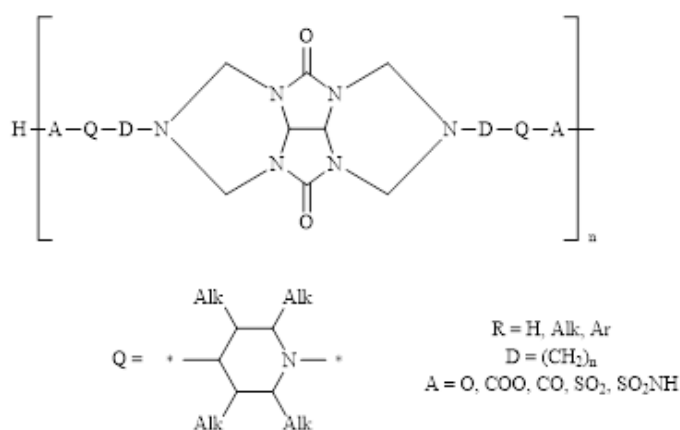


Nanostructured catalyst for the synthesis of novel compounds.

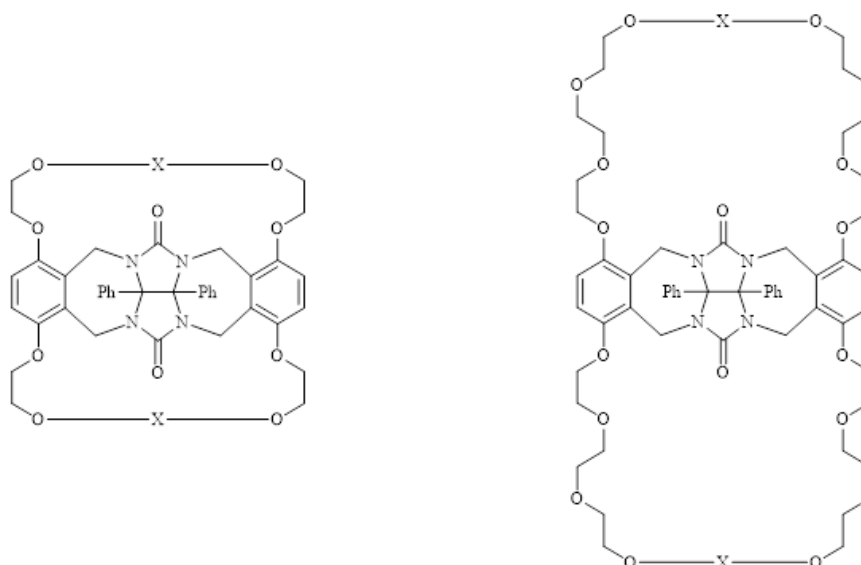


**N-Phosphorylated glycoluril derivatives** are flame retardants and are excellent nitrogen-phosphorus synergistic flame retardants [50].

The reactions of glycoluriles with formaldehyde have provided the basis for rapid progress in the chemistry of condensed polycyclic derivatives of glycoluriles, the macrocycles, which are of interest as objects of study in chemistry [51, 52].



Macrocyclic polymer with excellent light-stabilizing properties.



Crown ethers form complexes with cations and dicationes (alkali metals,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{AlkNH}_2\text{H}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $3\text{N}(\text{CH}_2)_n\text{NH}^+$  ( $n=39$ ), xylene and phenylenediammonium) with 1:1 stoichiometry. According to the authors, the structure of these complexes represents the sandwich and "clamshell" type.

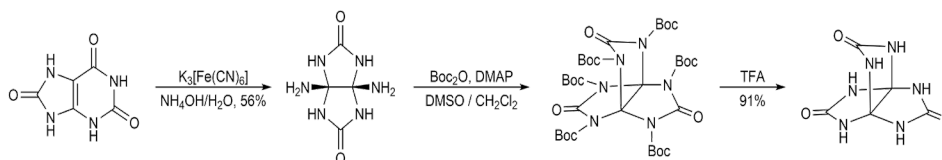
Cryptands (coronands) can form stable complexes with nitroaromatic compounds, e.g. nitrobenzenes.

In conclusion of this summary, we consider it necessary to draw the attention of researchers to the following points in the track of synthesis of new macrocyclic compounds based on glycoluriles.

Glycoluril is not an ideal template for biomimetic cycling, primarily due to the low solubility of this compound in most organic solvents, which often leads to the use of very harsh conditions for the direct synthesis of targeted macrocyclics. One interesting possibility to overcome this barrier is to utilize other glycoluril derivatives by adding a reagent to the parent glycoluril template or, more efficiently, to its reactive adduct, generally leading to various interesting unexpected structures. The design of glycoluril template in the synthesis of macrocyclic compounds is mostly based on condensation reactions and rarely some other reactions are presented. In addition, based on the generalization, it can be stated that the application of glycoluril in the synthesis of high molecular weight compounds (polymers) is relatively understudied and has an underdeveloped potential for a wide range of new studies to obtain practically valuable substances. Synthesis and study of chemical properties of bicyclic

bismoureas allowed us to reach new classes of nitrogen-containing heterocyclic compounds with other practically useful properties, such polycyclic condensed systems as propellanes, cucurbit[n]urils and bambus[n]urils, the building blocks of which are glycoluril.

Propellanes. Of independent interest in recent years is 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza [3.3.3] propellane (Figure 11), a cyclic urea derivative consisting of three condensed cycles linked by a common carbon-carbon bond that includes a glycolurilic fragment [53, 54].



**Figure 11. Synthesis of hexaazapropellanes**

Interestingly, uric acid was used as the starting compound for the synthesis of this propellane, which led to 1,5-diaminoglycoluril under the oxidizing action of Na S O228. The subsequent tricyclization step was satisfactorily carried out using di-tert-butyl carbonate (Boc<sub>2</sub>O), forming the intermediate 27 at room temperature. The final step of removing the protecting Boc group led to the formation of the target product 19, and the structures of 27 and 19 were confirmed by X-ray diffraction analysis. Judging from the experimental data, more successful results were achieved when carbonyldiimidazole was used as a carbonylating reagent instead of di-tert-butyl carbonate. The series of studies is aimed at finding ways to functionalize 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza [3.3.3] propellane. To search for new practically valuable substances, methods for preparation of hexaalkyl derivatives of 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza [3.3.3] propellane (methyl-, ethyl-, propyl derivatives), mono- and dinitro derivatives of 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza [3.3.3] propellane were further developed. The complete acetylation of 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza [3.3.3] propellane was found to occur in two stages through the formation and release of intermediate 2,6-di- and 2,6,9-triacetyl substituted derivatives of 3,7,10-trioxo-2,4,6,8,9,11-hexaaza[3.3.3]propellane.

### Macrocycles and supramolecular systems based on glycolurils.

**Cucurbituriles [55-78].** Cucurbituriles are macrocyclic molecules composed of glycoluril monomers linked by methylene bridges (-CH<sub>2</sub>-). The oxygen atoms are arranged along the plane and tilted inward, forming a partially closed cavity. Cucurbiturils are usually written as cucurbit[n]uril, where n is the number of glycoluril units. Two common abbreviations are adopted, CB[n] or simply CBn. and Q Cucurbituriles were first synthesized in 1905 by Behrend by condensation of glycoluril with formaldehyde, but their structure was not determined until 1981. To date, all known cucurbituriles consisting of 5, 6, 7, 8, 10 and 14 repeating units have been isolated.

The initial process for the synthesis of CB [6] consisted of the interaction of glycoluril and excess formaldehyde in the presence of HCl to yield a precipitate; this was dissolved in concentrated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at 110°C and then diluted with water and crystallized, yielding CB [6]. Kim and coworkers modified the reaction parameters in the synthesis of cucurbituril and diversified the CB[n] family with new penta-, hepta-, and octameric homologues. Carrying out the reaction in 9 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 36h at 75-100 °C gives a mixture of isolated CB[n] homologs (n = 5-8, 10), the content of which is 60% CB [6], 20% CB [7], 10% CB [5] and 10% mixture of other homologs (Figure 12). The isolated homologs are further purified by recrystallization.

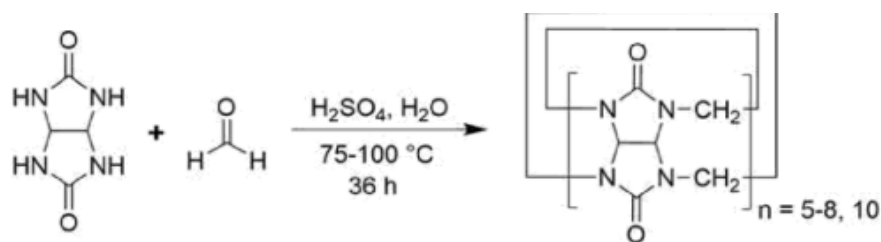


Figure 12. Scheme of synthesis by Kim CB[n] (n = 5-8, 10)

These separation and purification methods are convenient, but in most cases do not guarantee complete purification. Trace amounts of other CB[n] homologues, acids and solvents used in the precipitation and crystallization steps, or cationic particles such as  $\text{NH}_4^+$ , often contaminate the desired CB[n].

Cucurbituriles are of particular interest in the field of chemistry because they are hosts for neutral and cationic compounds. Binding to neutral particles is thought to occur through hydrophobic interactions, and in the case of cationic compounds through cation-dipole interactions. The sizes of cucurbituriles are usually in the range of 10 Å. For example, the cavity of cucurbit [6] uril has a height of ~ 9.1 Å, an outer diameter of ~ 5.8 Å and an inner diameter of ~ 3.9 Å.

The major members of the CB[n] family (n = 5-8) have rather rigid skeletons, in contrast to other macrocycles. However, the largest homologs discovered so far, CB [10], CB [13], CB [14], and CB [15], have structural flexibility. For example, CB [10] has an elliptical crystal structure unlike the major members, while the other senior homologs of CB[n] have twisted crystal structures. The sizes of the most common CB[n] homologs and inverted iCB[n] homologs are shown in Figure 13. For example, for CB[n] (n = 5-8, 10), the cavity diameters are 2 Å larger than the portal diameters, and the difference between the outer and inner diameters is about 8.5-8.8 Å. All CB[n], including the inverted ones, have the same height of 9.1 Å. However, the cavity diameters for the inverted homologs are smaller than their non-inverted counterparts because of the presence of a single glycoluric linker with methyl protons pointing into the cavity.

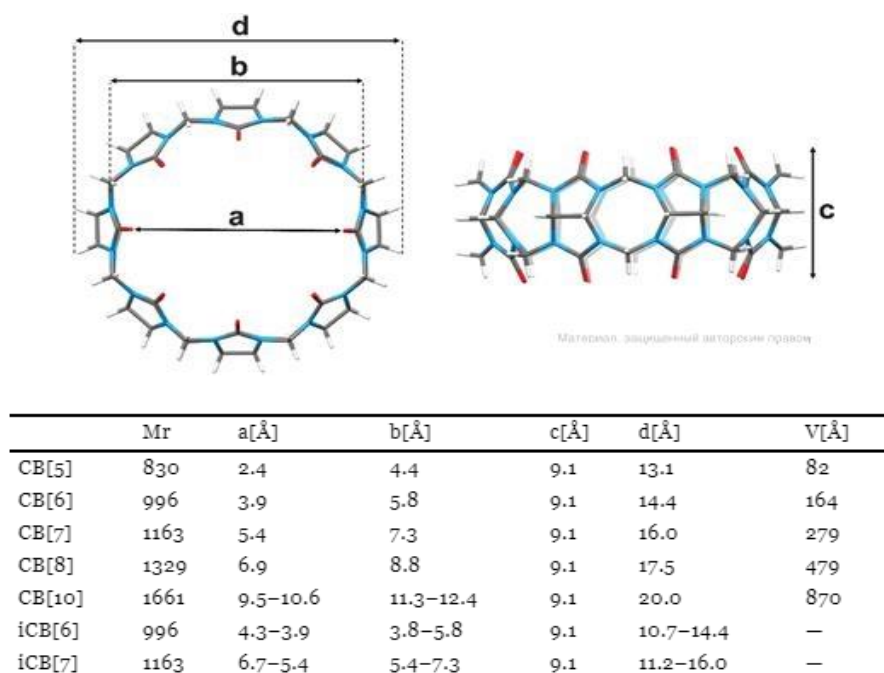
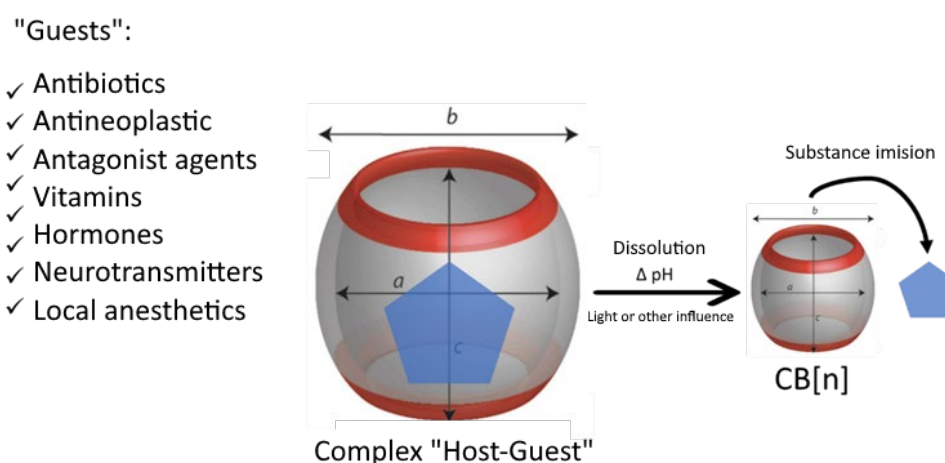


Figure 13. Structural parameters of the basic CB[n] homologs and inverted CB[n]

CB[n] binds to metal cations through two carbonylated portals; however, most metals interact with only a small fraction of the oxygen atoms at the CB[n] rim (i.e., the metal is usually not in the center of the portal, with the exception of cesium) .65-67 In the case of alkali and alkaline earth metals, multiple cations may occupy the same portal. Transition metal ions do not usually interact directly with the oxygen atoms of the CB[n] rim, and binding occurs between carbonyl groups. In the case of lanthanides, both direct metal-portal and metal-water-portal interactions have been observed. CB[n] can encapsulate numerous organic compounds and, in most cases, the thermodynamic parameters can be determined by UV spectroscopy, isothermal titration calorimetry and  $^1\text{H}$  NMR.

Applications of cucurbituriles. Cucurbituriles are used in supramolecular, synthetic, medical and material science industries, and find applications in drug delivery (Figure 14).



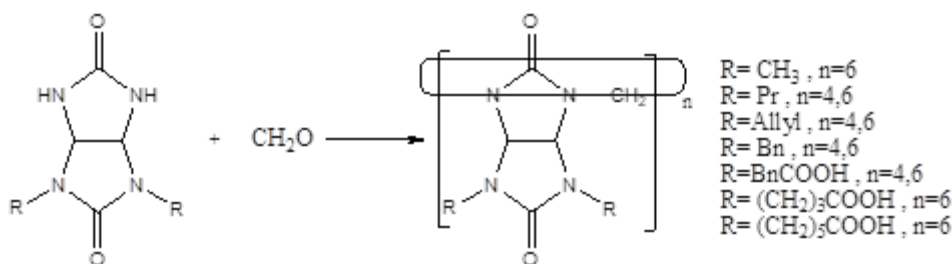
**Figure 14. Cucurbituil-based supramolecular complexes and ligand release**

In addition to the medicinal applications described above, CB[n] can be used as novel materials: CB[n]-containing polymers, dendrimers, metal nanoparticles, fullerenes, nanosheets, vesicles, films and surfaces, hydrogels. Such highly ordered hybrid materials are in demand for fine purification, separation and isolation of substances, target therapy against cancer, and in catalysis. Functional materials containing CB[n] have received increasing attention in recent years due to their versatile applications in fields including, but not limited to, theranostics, photonics, self-healing, sensing, and catalysis. Research work on the interaction of CB homologs and derivatives with biomolecules and drugs is presented because there have been many promising discoveries of supramolecular interactions between CB and biomolecules and small organic drug molecules that have potential implications in the field of medicine, which has become one of the most significant areas of potential applications for CB. Non-covalent interactions of peptides, proteins and drug molecules with CB homologs and derivatives are reviewed, and the ability of CB to modulate the function and bioactivity of these species through host-guest chemistry and the potential impact of CB on protein enrichment are discussed.

**Bambusuriles [78-93].** Bambusuriles were first synthesized in 2010. Bambusuriles (BU[n]) are a family of macrocyclic compounds consisting of n-2,4-disubstituted glycoluril units connected through a single row of n- methylene bridges at the equator of the macrocycle (Figure 15).

Bambusuriles are prepared by condensation reaction of 2,4- disubstituted glycoluril with formaldehyde of Mannich reaction type in an acidic medium (Figure 15). The choice of solvent

depends on the glycoluryl linkage and can range from polar water to nonpolar chloroform. Most of the reactions studied lead to the formation of bambusuriles from four or six glycoluryl units. Using microwave synthesis, bambusuryls can be obtained because the reaction time is significantly reduced.



**Figure 15. Scheme of bambusuryl synthesis**

Currently, only two homologs of bambusuryl have been found, consisting of four (BU [4]) and six (BU [6]) glycoluryl units. These compounds have different supramolecular properties. BU [6] is an excellent receptor for various inorganic anions; however, BU [4] does not bind anions due to the small cavity size. In bambusurils, the methine protons are directed to the inside of the cavity. The shape of the bambusuryl macrocycle resembles part of a bamboo rod, hence the name. Two circles of methine fragment protons inside the macrocycle form the narrowest parts. The anion-binding site is usually located between these rows of methyl hydrogen atoms. Bambusuriles are excellent receptors for a variety of anions. The above-mentioned properties distinguish bambusurils from cucurbiturils. Bambusuryls have a number of advantages over hemicucurbiturils because of their alternative arrangement of building blocks and a single row of methylene bridges. A list of registered bambusuryl derivatives is shown in (Figure 16). The type of substituent has a great influence on the solubility of bambusuryl derivatives. BU [6] is practically insoluble in any solvent, substitution of methyl groups with benzylic groups causes it to be soluble in chloroform and dimethyl sulfoxide. Water-soluble bambusuriles were obtained by incorporating carboxyl functional groups into their structure. Another modification of the bambusuryl structure was achieved by replacing the oxygen atom with a carbon atom.

<i>name:</i>	<i>n:</i>	<i>R:</i>
(Me)BU[n]	6	
(Pr)BU[n]	4, 6	
(Allyl)BU[n]	4, 6	
(Bn)BU[n]	4, 6	
(BnCOOH)BU[n]	4, 6	
((CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH)BU[n]	6	
((CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> COOH)BU[n]	6	

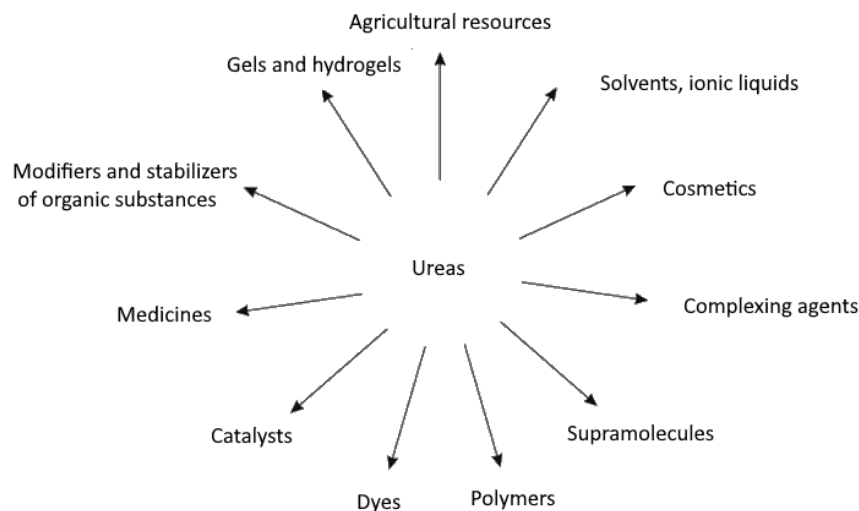
**Figure 16. List of registered bambusuryl derivatives**

**Applications of bambusuriles.** Bambusuryls have interesting supramolecular properties, and as a consequence, they can be applied in several fields. Bambusuriles can serve as a variety



of receptors for anions, which is used in organocatalysis, in developing new sensors and creating sensor matrices for anionic agents.

**Applications of urea.** Many years of research in urea chemistry have created valuable substances and materials that have found wide application in various aspects of human life [20-24, 28-34, 37-40, 44-49, 52]. Figure 17 schematically depicts the main directions of urea application in different fields of science and technology.



**Figure 17. Main applications of urea**

For example, urea-formaldehyde resins (UFRs) are the most widely used thermosetting binders in producing wood composite materials for structural purposes, a significant part of which is focused on producing particleboards. CFS is a product of polycondensation of urea and formaldehyde at different molar ratios, in aqueous solution in several stages with variable acidity. Along with other thermosetting, condensation binders, urea-formaldehyde resins are the cheapest and most available product with the ability to cure rapidly in the presence of catalysts, as well as a relatively high concentration at reduced viscosity, which provides low shrinkage in the process of pressing wood boards. The brand range of SFCs has reached an impressive size and continues to grow and improve by developing new grades to replace non-competitive grades. In addition to KPS, various polyureas have been obtained and studied [96-99].

Many complex compounds (CC) of metal salts with urea have been described in the literature. In these compounds, urea, as a rule, is coordinated through the oxygen atom, but there are known cases of its coordination through the nitrogen atom. With the salts of s-metals, urea forms adducts and complex compounds in coordination with the oxygen atom. With salts of p-metals urea forms adducts and complexes also with coordination through the oxygen atom. Coordination compounds of d-metal salts with urea have been studied well enough. Coordination of urea occurs through oxygen atoms, but there is information about coordination through nitrogen atoms. Information on complex compounds of d-metal salts with urea in the literature is presented in large quantities, which can be explained by the strong coordination ability of d-metals due to the presence of vacancies at the (n-1)d-sublevel and good solubility of these metal salts in nonpolar solvents. Coordination compounds of f-metal salts (lanthanides and actinides) with urea are studied quite well, the main interest is because these compounds with the necessary luminescence-spectral properties are promising for use in such areas as lighting engineering, optoelectronics, laser technology, etc.

Effective herbicides and pesticides have been developed based on urea [103-105]. Some ureas have proved to be convenient solvents (tetramethylurea [106] and silylurea [24], chiral ionic liquids) [107], valuable modifiers and stabilizers of organic materials [20], stabilisers of

photosensitizing materials in solar cells [108]. Among ureas, hydrogels have been found in the preparation of cyclodextrin/cellulose, biodegradable hydrogels with good mechanical properties, chiral urea derivatives are highly gel-forming towards organic solvents [109-110] and catalysts have been found for various processes [111-113].

Ureas are excellent reagents for synthesising many nitrogen-containing acyclic and heterocyclic compounds, the potential of which is illustrated in Figure 18.

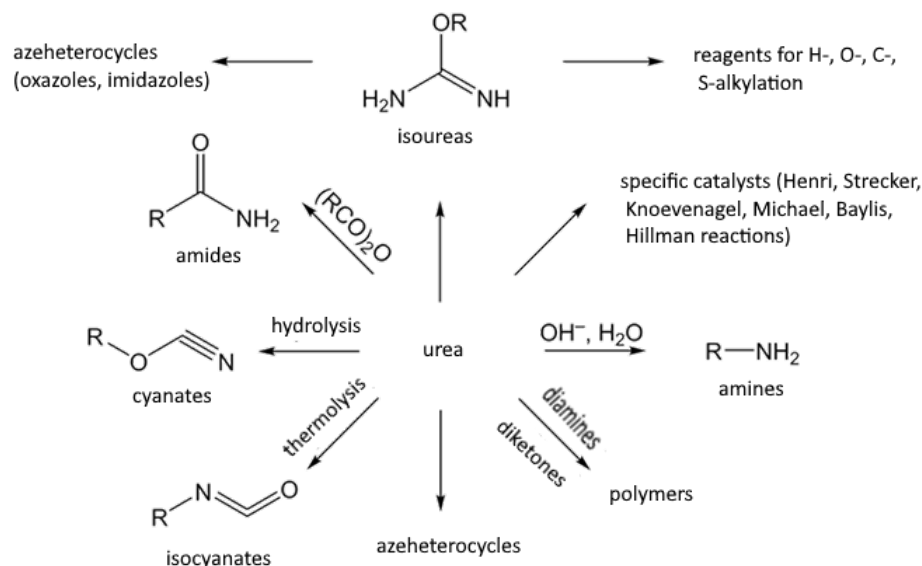


Figure 18. Ways of using urea in organic synthesis

**Urea-based pharmaceuticals.** Although urea itself as a medical drug has very modest capabilities, there are many examples of the use of its derivatives as sleeping pills, narcotic, antipyretic, analgesic and anticonvulsant agents, for the treatment of diabetes, glycemia and helminthic diseases [114-120]. High antimicrobial, proteolytic, inhibitor, antiepileptic activity, etc. were found among the first synthesized urea.

Due to the high biogenic activity of urea, the transport of which involves many processes in the body, introducing a urea fragment into substances with well-known biological activity allowed, in some cases, to obtain interesting results.

Drugbank (version 4.3), among approved and investigational drugs, contains 148 compounds derived from acyclic urea. The ChEMBL bioactivity database (version 20) includes 76,494 biologically active urea-containing molecules, corresponding to about 5% of the indexed molecules. Of these, 34232 preparations contain an  $\text{N},\text{N}'$ -disubstituted urea moiety and 39426 contain a trisubstituted one (Figures 2, 19) [114-120].

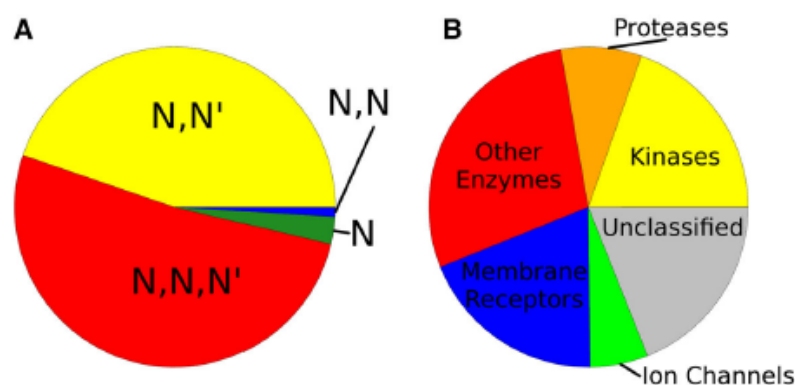


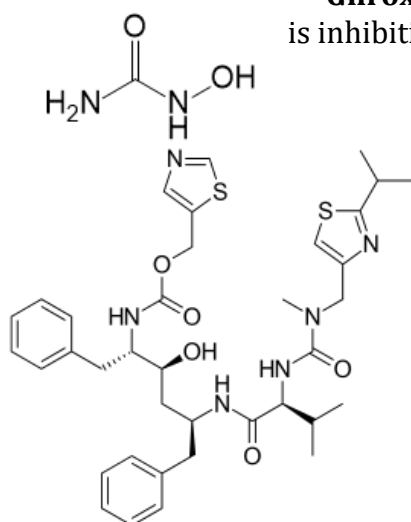
Figure 19. Biological activity of urea derivatives

The vast majority of urea-containing compounds, in ChEMBL, are either N,N'-disubstituted (yellow) or trisubstituted (red). Monosubstituted ureas (green) as well as N,N-disubstituted ureas (blue) are less common. Urea derivatives are known to exhibit diverse biological activities toward kinases (yellow), proteases (orange), and other enzymes (red), as well as membrane receptors (blue) and ion channels (green).

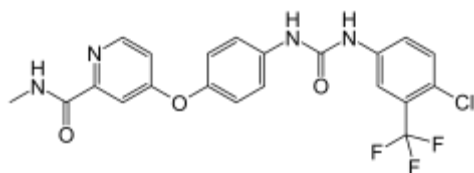
Interestingly, preparations with terminal ureide groups are rare: 2092 molecules based on monosubstituted and 743 compounds as N,N-disubstituted urea. No tetrasubstituted urea was found in the ChEMBL database. The vast majority of urea-containing compounds in ChEMBL are either N,N'-disubstituted or trisubstituted. Monosubstituted ureas as well as N,N-disubstituted ureas are less common. Urea derivatives are known to exhibit diverse biological activities toward kinases, proteases and other enzymes, as well as membrane receptor ion channels.

Urea is of great importance for cosmetology and dermatology, where it is used as a moisturizer to enhance transdermal drug penetration. In concentrations of 10-15% urea is used in surgery for wound treatment, as it dissolves coagulants and promotes epithelialization. In high concentrations (40%) urea breaks down proteins, which allows it to be used for the treatment of hyperkeratosis. Creams containing urea are prescribed for dermatitis, xerosis, ichthyosis, psoriasis, onychomycosis, eczema, dermatomycosis of the foot, etc. as a topical antifungal emollient and moisturizer. Urea clearance can be used as a relatively simple method to assess drug-induced changes in blood flow in human skin during microdialysis of vasoactive agents. The structures of known drugs in which the urea moiety is present are summarized below.

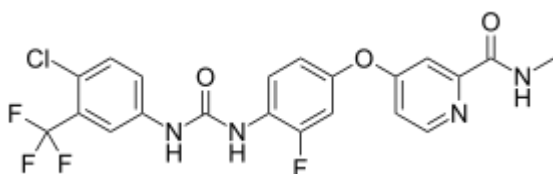
**Giloxycarbamide.** Antitumor agent. The presumed mechanism of action is inhibition of DNA synthesis.



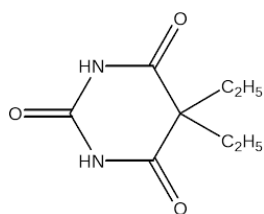
**Ritonavir** (Ritonavir)-an antiretroviral drug used in combination with other drugs to treat HIV/AIDS and HCV infection. Within two years of the approval of ritonavir (saquinavir), HIV-associated deaths in the United States dropped from more than 50,000 per year to about 18,000.



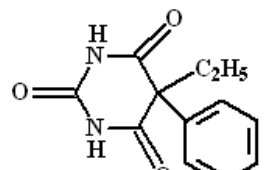
**Sorafenib** is a targeted antitumor agent, a small-molecule multikinase inhibitor. Clinical trials have shown that sorafenib inhibits tumor growth in human renal cell and hepatic cell cancers.



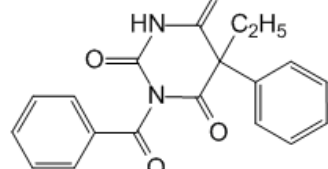
Regorafenib (commercial name Stivarga) is an oral multikinase inhibitor developed by Bayer that affects the processes of oncogenesis and angiogenesis in tumor tissue and disrupts the regulation of the tumor microenvironment by inhibiting various protein kinases.



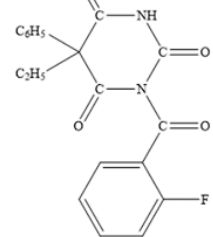
**Veronal(Barbital)** a medication sold under the brand name Veronal. The drug was used as a sleeping pill from 1903 until the mid-1950s. Currently, barbital has limited use.



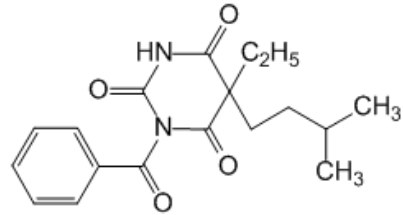
**Luminal(Phenobarbital).** An ancestor of barbiturate-type drugs, an antiepileptic psychotropic drug from the group of barbiturates. Phenobarbital does not belong to the first-line drugs because of its pronounced sedative (sedative) effect.



**Benzonal.** Antiepileptic drug. Practically has no sedative effect. The effect occurs in 20-60 min after oral administration.

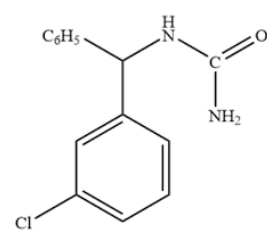


**Halonal.** Recommended for medical use and industrial release as an anticonvulsant drug.

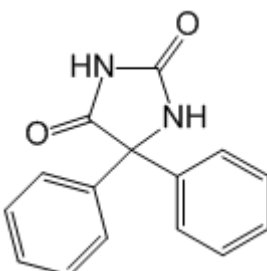


**Benzobamyl.** It has anticonvulsant, sedative effect. In large doses it may cause a sedative effect. It is used in epilepsy with localization of the focus of excitation mainly insubcortical formations. In subcortical localization of the epilepsy focus, the drug has a good therapeutic effect; it has not only anticonvulsant action, but also improves the general mental state (reduces or relieves headaches, lethargy, mood swings,

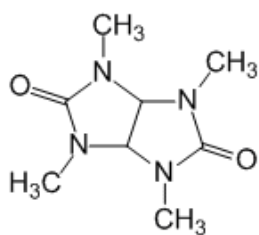
etc.). The formulas of a number of barbiturate drugs (cyclobarbital, pentobarbital, ammobarbital), which are no longer used in clinical practice, are not listed here.



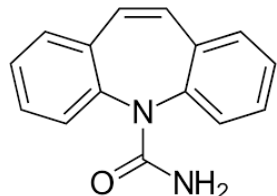
**Galodif.** It is an original anticonvulsant drug developed for the treatment and prevention of epilepsy, as well as for the treatment of alcohol dependence.



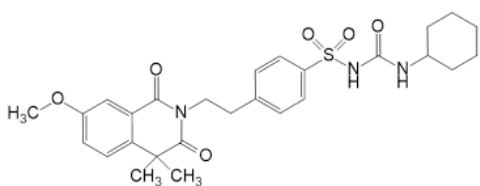
**Phenytoin (diphenine).** Anticonvulsant, has anticonvulsant, antiarrhythmic, analgesic, myorelaxant effect.



**Mecicar (Adaptol).** The drug belongs to anxiolytic, stress-protective, nootropic drugs. It regulates disturbed night sleep without having a direct sleeping effect. Eases or relieves nicotine withdrawal.

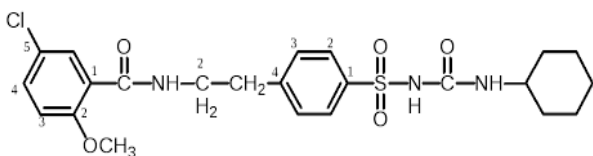


**Carbamazepine (Tegretol).** Antiepileptic drug (dibenzazepine derivative), which also has normotensive, antimanic, antidiuretic (in patients with non-sugar diabetes) and analgesic (in patients with neuralgia) effects.



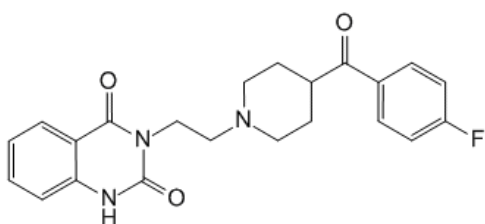
**Glyquidone.** Oral hypoglycemic agent, sulfonylurea derivative of II generation. Stimulates insulin secretion by pancreatic  $\beta$ -cells, increases sensitivity of peripheral tissues to insulin, inhibits lipolysis in adipose tissue. It is characterized by a rapid and pronounced effect. Does not

cause prolonged hyperinsulinemia.



**Glibenclamide (Cyclamide).** Oral hypoglycemic agent, sulfonylurea derivative of II generation. Stimulates insulin secretion by pancreatic  $\beta$ -cells, increases insulin release. Acts mainly during the second stage of insulin

secretion.



**Ketanserin (Serefrex, Surexal, Sufroxal).** Causes dilation of blood vessels and has antihypertensive (blood pressure lowering) effect.

## Conclusion

Since the discovery of urea synthesis from inorganic substances by F. Wöhler (1828), urea has always been the object of close research attention of both chemists and specialists of the widest profile. Almost two-century history of urea chemistry was marked by the creation of many dozens of valuable substances based on urea, which have been used as effective drugs, herbicides, polymers, monomers for polymeric materials, dyes, etc. The history of urea chemistry has been marked by the creation of many dozens of valuable substances. Despite the widespread popularity of urea as synthetic "simulator" objects in the hands of chemists, the chemistry of urea is constantly evolving, and the traditional ways of their use in chemistry are constantly being improved. In recent decades, the development of urea chemistry has led to the creation of specific self-organizing supramolecular systems on their basis, the growing interest in which is due to the unusual nature of their structure and the manifestation of their unique properties. Numerous studies in this area indicate that the attention of researchers will be attracted to further methods of synthesis and study of physicochemical properties of such supramolecular systems through the convergence of knowledge in the field of chemistry, physics, materials science, and, obviously, biomedical direction. The rapid progress in the utilization of urea for the preparation of such compounds has been accompanied by a rapid

development of theoretical insights in this field of knowledge, which is still ongoing. Although the chemistry and applications of urea have already been the subject of numerous topical review articles and separate sections in monographs, this article reflects almost all major aspects of the origin and evolution of urea chemistry. At the same time, considerable attention is paid to the various applications of acyclic and heterocyclic urea.

**Funding:** This work was supported by Russian Science Foundation, grant RSF 24-43-20044 (to IK).

**Conflict of interests:** no conflict of interest.

## References

1. Martins Z., Botta O., Fogel M.L., Sephton M.A., Glavin D.P., Watson J.S., Dworkin J.P., Schwartz A.W., Ehrenfreund P. Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite // *Earth and Planetary Science Letters*. - 2008. - Vol. 270, № 1–2. - P. 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.026>.
2. Engel M.H., Macko S.A. Stable isotope analysis of amino acid enantiomers in the Murchison meteorite at natural abundance levels / ed. Hoover R.B. San Diego, CA, - 1997. - P. 82–85. <https://doi.org/10.1117/12.278813>.
3. Furukawa Y., Chikaraishi Y., Ohkouchi N., Ogawa N.O., Glavin D.P., Dworkin J.P., Abe C., Nakamura T. Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. - 2019. - Vol. 116, № 49. - P. 24440–24445. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907169116>.
4. Martins Z., Botta O., Fogel M.L., Sephton M.A., Glavin D.P., Watson J.S., Dworkin J.P., Schwartz A.W., Ehrenfreund P. Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite // *Earth and Planetary Science Letters*. - 2008. - Vol. 270, № 1–2. - P. 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.026>.
5. Kaiser R.I. Experimental Investigation on the Formation of Carbon-Bearing Molecules in the Interstellar Medium via Neutral–Neutral Reactions // *Chemical Reviews*. - 2002. - Vol. 102, № 5. - P. 1309–1358. <https://doi.org/10.1021/cr970004v>.
6. Text: electronic // *Gazeta.ru*: [site]. - URL: <https://www.gazeta.ru/science/news/2024/10/26/24244315.shtml> (date of reference: 10.11.2024). [In Russian]
7. Nuevo M., Bredehöft J.H., Meierhenrich U.J., d’Hendecourt L., Thiemann W.H.-P. Urea, Glycolic Acid, and Glycerol in an Organic Residue Produced by Ultraviolet Irradiation of Interstellar/Pre-Cometary Ice Analogs // *Astrobiology*. - 2010. - Vol. 10, № 2. - P. 245–256. <https://doi.org/10.1089/ast.2009.0358>.
8. Muidinov R.Yu., Zorkii P.M. A comparative analysis of the crystal structures of carbamide and thiocarbamide // *Journal of Structural Chemistry*. - 1999. - Vol. 40, № 6. - P. 931–939. <https://doi.org/10.1007/BF02700702>.
9. Amendola V., Fabbrizzi L., Mosca L. Anion recognition by hydrogen bonding: urea-based receptors // *Chemical Society Reviews*. - 2010. - Vol. 39, № 10. - P. 3889. <https://doi.org/10.1039/b822552b>.
10. Kucheryavy V.I., Lebedev V.V. Synthesis and application of urea. - L., Khimiya, 1970. - 448 p.
11. Brusilow S. W., Horwich A. L. Urea cycle enzymes. // *The Metabolic Basis of Inherited Diseases* / eds. C. R. Scriver, A. L. Beaudet, W. S. Sly, D. Valle. — New York: McGraw-Hill, 1989. — P. 629–663.
12. Jones E. A. Hepatic encephalopathy and GABA-ergic neurotransmission. // *Hepatic encephalopathy: management with lactulose and related carbohydrates* / eds.: H. O. Conn, J. Bircher. — East Lansing, MI: Medi-Ed, 1988. — P. 61–80.
13. Berezov T., Korovkin B.F. - *Biological Chemistry: Textbook*. - M.: Medicine, 1998.- 704 p. [In Russian]
14. Atkinson D.E., Camien M.N. The Role of Urea Synthesis in the Removal of Metabolic Bicarbonate and the Regulation of Blood pH // *Current Topics in Cellular Regulation*. Elsevier, - 1982. - Vol. 21. - P. 261–302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-152821-8.50014-1>.
15. Mountain R.D., Thirumalai D. Molecular Dynamics Simulations of End-to-End Contact Formation in Hydrocarbon Chains in Water and Aqueous Urea Solution // *Journal of the American Chemical Society*. - 2003. - Vol. 125, № 7. - P. 1950–1957. <https://doi.org/10.1021/ja020496f>.



16. Kyne G. M., Light M. E., Hursthouse M. B., Mendoza J. de, Kilburn J. D. Enantioselective amino acid recognition using acyclic thiourea receptors // *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1.* – 2001. – Vol. 11. – P. 1258–1263. – DOI: <https://doi.org/10.1039/B102298A>
17. Aronson D., Mittleman M. A., Burger A. J. Elevated blood urea nitrogen level as a predictor of mortality in patients admitted for decompensated heart failure // *The American Journal of Medicine.* – 2004. – Vol. 116, №7. – P. 466–473. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2003.11.014>
18. Chang R. S., Robertson C. R., Deen W. M., Brenner B. M. Permselectivity of the glomerular capillary wall to macromolecules. I. Theoretical considerations // *Biophysical Journal.* – 1975. – Vol. 15, №9. – P. 861–886. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(75\)85862-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(75)85862-0)
19. Aronson D., Hammerman H., Beyar R., Yalonetsky S., Kapeliovich M., Markiewicz W., Goldberg A. Serum blood urea nitrogen and long-term mortality in acute ST-elevation myocardial infarction // *International Journal of Cardiology.* – 2008. – Vol. 127, № 3. – P. 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.05.013>.
20. Vishnyakova T.P., Golubeva I.A., Glebova E.V. Substituted Ureas. Methods of Synthesis and Applications // *Usp. Khim.* – 1985. – Vol. 54, № 3. – P. 429–449; *Russian Chemical Reviews.* – 1985. – Vol. 54, No. 3. – P. 249–261. [In Russian]
21. Kutepov D.F. Chemical advances in synthesis and reactions of diarylureas // *Russian Chemical Reviews.* – 1962. – Vol. 31, № 11. – P. 633–655. <https://doi.org/10.1070/RC1962v031n11ABEH001325>.
22. Bakibaev A.A., Shtrykova V.V. Isooureas: synthesis, properties, and applications // *Russian Chemical Reviews.* – 1995. – Vol. 64, № 10. – P. 929–938. <https://doi.org/10.1070/RC1995v064n10ABEH000185>. [In Russian]
23. Afanas'ev V.A., Dzhamanbaev Z.A., Zaikov G.E. Derivatives of Carbohydrates with Carbamide Fragments // *Russian Chemical Reviews.* – 1982. – Vol. 51, № 4. – P. 377–386. <https://doi.org/10.1070/RC1982v051n04ABEH002847>.
24. Kozyukov V.P., Sheludyakov V.D., Mironov V.F. Silicon-containing Ureas // *Russian Chemical Reviews.* – 1975. – Vol. 44, № 5. – P. 413–430. <https://doi.org/10.1070/RC1975v044n05ABEH002351>.
25. Hutchby M. Pd(II) Catalysed Aminocarbonylation of Alkenes // *Novel Synthetic Chemistry of Ureas and Amides.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, – 2013. – P. 37–44. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32051-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32051-4_2).
26. McKay M.J., Nguyen H.M. Recent developments in glycosyl urea synthesis // *Carbohydrate Research.* – 2014. – Vol. 385. – P. 18–44. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2013.08.007>.
27. Bakibaev A.A., Mamaeva E.A., Yanovsky V.A., Bystritsky E.L., Yagovkin A.Yu. Preparative methods of synthesis of nitrogen-containing compounds based on urea. -Tomsk: Agraf-Press, 2007. - 164 p. [In Russian]
28. Finkelypteyn A.I., Shishkin N.P. Methods of production of cyanuric acid. // *Izv. vuzov. Chemistry and Chemical Technology.* – 1990. – T.ZZ, No.7. – P.3-12. [In Russian]
29. Levina R.Y., Velichko F.K. ADVANCES IN THE CHEMISTRY OF BARBITURIC ACIDS // *Russian Chemical Reviews.* – 1960. – Vol. 29, № 8. – P. 437–459. <https://doi.org/10.1070/RC1960v029n08ABEH001245>.
30. Wiebe L. Syntesen af barbiturater // *Dan. kemi.* – 1985. – vol.66. – №9. – p.245-251. – p.253-255
31. Bojarski J.T., Mokrosz J.L., Bartoń H.J., Paluchowska M.H. Recent Progress in Barbituric Acid Chemistry // *Advances in Heterocyclic Chemistry.* Elsevier, – 1985. – Vol. 38. – P. 229–297. [https://doi.org/10.1016/S0065-2725\(08\)60921-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2725(08)60921-6).
32. López C.A., Trigo G.G. The Chemistry of Hydantoins // *Advances in Heterocyclic Chemistry.* Elsevier, – 1985. – Vol. 38. – P. 177–228. [https://doi.org/10.1016/S0065-2725\(08\)60920-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2725(08)60920-4).
33. Avetisyan C.A., Azaryan L.V., Kocharov S.L. Synthesis and properties of hydantoins. 1. Methods of synthesis of hydantoins. // *Arm. chem. journ.* – 1986. – V.39, №3. – P.151-168. [In Russian]
34. Avetisyan S.A., Azaryan L.V., Kocharov S.L. Synthesis and properties of hydantoins. 2. Chemical properties of hydantoins. // *Arm. chem. journ.* – 1988. – V. 41, NO.9. – P.548-571. [In Russian]
35. Mamaev V.P., Vais A.L. Pyrimidines: XLVII. New method for the synthesis of 2-aminopyrimidines // *Chemistry of Heterocyclic Compounds.* – 1975. – Vol. 11, № 11. – P. 1322–1326. <https://doi.org/10.1007/BF00474465>.
36. Kappe C.O. 100 Years of Biginelli dihydropyrimidine synthesis. // *Tetrahedron.* – 1993. – Vol.49, N32. – P.6937-6963.



37. Bakibaev A.A., Il'yasov S.G., Tatarenko O.V., Tuguldurova V.P., Zorin A.O., Malkov V.S., Kasyanova A.S. Allantoin: synthesis and chemical properties. // Bulletin of the Karaganda University. "Chemistry" series. - 2020. - Vol. 97, № 1. - P. 7–21. <https://doi.org/10.31489/2020Ch1/7-21>.
38. Petersen H. Syntheses of Cyclic Ureas by  $\alpha$ -Ureidoalkylation // Synthesis. - 1973. - Vol. 1973, № 05. - P. 243–292. <https://doi.org/10.1055/s-1973-22190>.
39. Bakibaev A.A., Yagovkin A.Y., Vostretsov S.N. Methods of synthesis of nitrogen-containing heterocycles using ureas and related compounds // Russian Chemical Reviews. - 1998. - Vol. 67, № 4. - P. 295–314. <https://doi.org/10.1070/RC1998v067n04ABEH000295>.
40. Kravchenko A.N., Chikunov I.E. Chemistry of ureido carboxylic and ureylene dicarboxylic acids // Russian Chemical Reviews. - 2006. - Vol. 75, № 3. - P. 191–206. <https://doi.org/10.1070/RC2006v075n03ABEH003589>.
41. Panshina S.Yu., Ponomarenko A.A., Bakibaev A.A., Malkov V.S. Analysis of X-ray structural characteristics of glycoluril and its derivatives. // Journal of Structural Chemistry. - 2020. - V. 61, № 9. - P. 1389–1432.
42. Bakibaev A.A., Zhumanov K.B., Panshina S.Y., Gorbin S.I., Khrebtova D.V., Ponomarenko O.V., Malkov V.S., Tsoi I.G., Matniyazova G.K., Baibazarova E.A. NMR spectra of phosphorylated carbamide-containing heterocycles: features of chemical shifts from the valence state of phosphorus and cycle size. // Investigations of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2019. - V.5, N437. - P.100–107 [In Russian]
43. Bakibaev A., Zhumanov K., Panshina S., Gorbin S., Malkov V., Tsoy I., Massalimova B., Matniyazova G., Baybazarova E. Synthesis methods of phosphorylated carbamide containing acyclic and heterocyclic compounds // Bulletin of the Karaganda University. "Chemistry" series. - 2019. - Vol. 95, № 3. - P. 115–157. <https://doi.org/10.31489/2019Ch3/115-157>.
44. Bakibaev A.A., Malkov V.S., Gorbin S.I., Hoang N.P., Panshina S.Yu. Tetraacetyl glycoluril and its derivatives: synthesis, properties and application // izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii khimiya khimicheskaya tekhnologiya. - 2019. - Vol. 62, № 9. - P. 4–19. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196209.5924>.
45. Bakibaev A.A., Yagovkin A.Yu., Korolkova S.M. Chemical properties and application and their derivatives imidazolidin-2-ones. // Vuzvestiya vuzov. Chemistry and Chemical Technology. - 2000. - V.43, N.3. - P.43–64.
46. Kravchenko A.N., Baranov V.V., Gazieva G.A. Synthesis of glycolurils and their analogues // Russian Chemical Reviews. - 2018. - Vol. 87, № 1. - P. 89–108. <https://doi.org/10.1070/RCR4763>.
47. Bakibaev A., Malkov V., Kurgachev D.A., Kotelnikov O.A. Methods of analysis of glycoluril and its derivatives // Bulletin of the Karaganda University. "Chemistry" series. - 2020. - Vol. 100, № 4. - P. 5–34. <https://doi.org/10.31489/2020Ch4/5-34>.
48. Ponomarenko O., Panshina S., Bakibaev A., Erkasov R. Sh., Kenzhebaj M., Montaeva A. Glycoluril and Its Chemical Properties // Eurasian Journal of Chemistry. - 2023. - Vol. 110, № 2. - P. 4–28. <https://doi.org/10.31489/2959-0663/2-23-9>.
49. Lebedev O.B., Khmel'nitsky L.I., Epishina L.V. et al. Saturated bicyclic bismochevins - a new class of substances with psychopharmacologic activity // In Collected Works: Targeted search for new neurotropic drugs. Riga. - 1983. - P.81–93.
50. Bakibaev A., Zhumanov K., Panshina S., Gorbin S., Malkov V., Tsoy I., Massalimova B., Matniyazova G., Baybazarova E. Synthesis methods of phosphorylated carbamide containing acyclic and heterocyclic compounds // Bulletin of the Karaganda University. "Chemistry" series. - 2019. - Vol. 95, № 3. - P. 115–157. <https://doi.org/10.31489/2019Ch3/115-157>.
51. Barsegyan Y.A., Baranov V.V., Kravchenko A.N. Glycolurils in the synthesis of fused polyheterocyclic compounds // Chemistry of Heterocyclic Compounds. - 2017. - Vol. 53, № 2. - P. 116–122. <https://doi.org/10.1007/s10593-017-2029-5>.
52. Kabieva S.K., Zhumanazarova G.M., Kanasheva N., Bakibaev A.A., Panshina S.Yu., Malkov V.S., Mamaeva E.A., Knyazev A.S. Methods of synthesizing glycoluril-based macrocyclic compounds as precursors for polymeric compounds // Journal of Saudi Chemical Society. - 2023. - Vol. 27, № 6. - P. 101768. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101768>.
53. Levin M.D., Kaszynski P., Michl J. Bicyclo[1.1.1]pentanes, [n]Staffanes, [1.1.1]Propellanes, and Tricyclo[2.1.0.0<sup>2,5</sup>]pentanes // Chemical Reviews. - 2000. - Vol. 100, № 1. - P. 169–234. <https://doi.org/10.1021/cr990094z>.

54. Dilmaç A.M., Spuling E., de Meijere A., Bräse S. Propellanes—From a Chemical Curiosity to “Explosive” Materials and Natural Products // *Angewandte Chemie International Edition*. - 2017. - Vol. 56, № 21. - P. 5684–5718. <https://doi.org/10.1002/anie.201603951>.
55. Cucurbituril-based Functional Materials./Ed.D.Tuncel // *Royal Society of Chemistry*. - 2019. - 289 p.
56. Gerasko O.A., Samsonenko D.G., Fedin V.P. Supramolecular chemistry of cucurbiturils // *Russian Chemical Reviews*. - 2002. - Vol. 71, № 9. - P. 741–760. <https://doi.org/10.1070/RC2002v071n09ABEH000748>.
57. Lagona J., Mukhopadhyay P., Chakrabarti S., Isaacs L. The Cucurbit[*n*]uril Family // *Angewandte Chemie International Edition*. - 2005. - Vol. 44, № 31. - P. 4844–4870. <https://doi.org/10.1002/anie.200460675>.
58. Gerasko O.A., Kovalenko E.A., Fedin V.P. Macrocyclic cavitands cucurbit[*n*]urils: prospects for application in biochemistry, medicine and nanotechnology // *Russian Chemical Reviews*. - 2016. - Vol. 85, № 8. - P. 795–816. <https://doi.org/10.1070/RCR4595>.
59. Kim K., Selvapalam N., Ko Y.H., Park K.M., Kim D., Kim J. Functionalized cucurbiturils and their applications // *Chem. Soc. Rev.* - 2007. - Vol. 36, № 2. - P. 267–279. <https://doi.org/10.1039/B603088M>.
60. Masson E., Ling X., Joseph R., Kyeremeh-Mensah L., Lu X. Cucurbituril chemistry: a tale of supramolecular success // *RSC Adv.* - 2012. - Vol. 2, № 4. - P. 1213–1247. <https://doi.org/10.1039/C1RA00768H>.
61. Assaf K.I., Nau W.M. Cucurbiturils: from synthesis to high-affinity binding and catalysis // *Chemical Society Reviews*. - 2015. - Vol. 44, № 2. - P. 394–418. <https://doi.org/10.1039/C4CS00273C>.
62. Ni X.-L., Xiao X., Cong H., Liang L.-L., Cheng K., Cheng X.-J., Ji N.-N., Zhu Q.-J., Xue S.-F., Tao Z. Cucurbit[*n*]uril-based coordination chemistry: from simple coordination complexes to novel poly-dimensional coordination polymers // *Chemical Society Reviews*. - 2013. - Vol. 42, № 24. - P. 9480. <https://doi.org/10.1039/c3cs60261c>.
63. Mock W.L. Cucurbituril // *Supramolecular Chemistry II — Host Design and Molecular Recognition* / ed. Weber E. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, - 1995. - Vol. 175. - P. 1–24. [https://doi.org/10.1007/3-540-58800-0\\_16](https://doi.org/10.1007/3-540-58800-0_16).
64. Rudkevich D.M. Emerging Supramolecular Chemistry of Gases // *Angewandte Chemie International Edition*. - 2004. - Vol. 43, № 5. - P. 558–571. <https://doi.org/10.1002/anie.200300606>.
65. Lee T.-C., Kalenius E., Lazar A.I., Assaf K.I., Kuhnert N., Grün C.H., Jänis J., Scherman O.A., Nau W.M. Chemistry inside molecular containers in the gas phase // *Nature Chemistry*. - 2013. - Vol. 5, № 5. - P. 376–382. <https://doi.org/10.1038/nchem.1618>.
66. Fedin P., Gerasko. Cucurbituril: playing in molecules // *Priroda*. - 2002. № 8. - P.3-13.
67. Ma X., Zhao Y. Biomedical Applications of Supramolecular Systems Based on Host–Guest Interactions // *Chemical Reviews*. - 2015. - Vol. 115, № 15. - P. 7794–7839. <https://doi.org/10.1021/cr500392w>.
68. Barrow S.J., Kasera S., Rowland M.J., Del Barrio J., Scherman O.A. Cucurbituril-Based Molecular Recognition // *Chemical Reviews*. - 2015. - Vol. 115, № 22. - P. 12320–12406. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00341>.
69. Lee J.W., Samal S., Selvapalam N., Kim H.-J., Kim K. Cucurbituril Homologues and Derivatives: New Opportunities in Supramolecular Chemistry // *Accounts of Chemical Research*. - 2003. - Vol. 36, № 8. - P. 621–630. <https://doi.org/10.1021/ar020254k>.
70. Das D., Assaf K.I., Nau W.M. Applications of Cucurbiturils in Medicinal Chemistry and Chemical Biology // *Frontiers in Chemistry*. - 2019. - Vol. 7. - P. 619. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00619>.
71. Cong H., Ni X.L., Xiao X., Huang Y., Zhu Q.-J., Xue S.-F., Tao Z., Lindoy L.F., Wei G. Synthesis and separation of cucurbit[*n*]urils and their derivatives // *Organic & Biomolecular Chemistry*. - 2016. - Vol. 14, № 19. - P. 4335–4364. <https://doi.org/10.1039/C6OB00268D>.
72. Day A., Arnold A.P., Blanch R.J., Snushall B. Controlling Factors in the Synthesis of Cucurbituril and Its Homologues // *The Journal of Organic Chemistry*. - 2001. - Vol. 66, № 24. - P. 8094–8100. <https://doi.org/10.1021/jo015897c>.
73. Gürbüz S., Idris M., Tuncel D. Cucurbituril-based supramolecular engineered nanostructured materials // *Organic & Biomolecular Chemistry*. - 2015. - Vol. 13, № 2. - P. 330–347. <https://doi.org/10.1039/C4OB02065K>.

74. Svec J., Necas M., Sindelar V. Bambus[6]uril // *Angewandte Chemie International Edition*. - 2010. - Vol. 49, № 13. - P. 2378–2381. <https://doi.org/10.1002/anie.201000420>.
75. Dhiman R., Pen S., Chandrakumar P.K., Frankcombe T.J., Day A.I. Glycoluril derived cucurbituril analogues and the emergence of the most recent example: tiarauril // *Chemical Communications*. - 2020. - Vol. 56, № 17. - P. 2529–2537. <https://doi.org/10.1039/C9CC07233K>.
76. Burkhanbayeva T., Guslyakov A.N., Tarikhov F.F., Pavlov D.I., Erkasov R.S., Bakibaev A.A., Potapov A.S., Yanovsky V.A., Malkov V.S. Synthesis and study of a novel supramolecular “host–guest” complex based on cucurbit[6]uril and 1,4-bis(2-hydroxyethyl)piperazine dihydrochloride // *Journal of Saudi Chemical Society*. - 2024. - Vol. 28, № 2. - P. 101819. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2024.101819>.
77. Burkhanbayeva T., Ukhov A., Fedorishin D., Gubankov A., Kurzina I., Bakibaev A., Yerkassov R., Mashan T., Suyundikova F., Nurmukhanbetova N., Khamitova A. Development of New Composite Materials by Modifying the Surface of Porous Hydroxyapatite Using Cucurbit[n]urils // *Materials*. - 2024. - Vol. 17, № 9. - P. 2041. <https://doi.org/10.3390/ma17092041>.
78. Burkhanbayeva T., Ukhov A., Assylbekova D., Mussina Z., Kurzina I., Abilkasova S., Bakibaev A., Issabayeva M., Yerkassov R., Shaikhova Z. The Role of Methods for Applying Cucurbit[6]uril to Hydroxyapatite for the Morphological Tuning of Its Surface in the Process of Obtaining Composite Materials // *Materials*. - 2024. - Vol. 17, № 20. - P. 4995. <https://doi.org/10.3390/ma17204995>.
79. Lizal T., Sindelar V. Bambusuril Anion Receptors // *Israel Journal of Chemistry*. - 2018. - Vol. 58, № 3–4. - P. 326–333. <https://doi.org/10.1002/ijch.201700111>.
80. Yawer M.A., Havel V., Sindelar V. A Bambusuril Macrocycle that Binds Anions in Water with High Affinity and Selectivity // *Angewandte Chemie International Edition*. - 2015. - Vol. 54, № 1. - P. 276–279. <https://doi.org/10.1002/anie.201409895>.
81. Havel V., Sindelar V. Anion Binding Inside a Bambus[6]uril Macrocycle in Chloroform // *ChemPlusChem*. - 2015. - Vol. 80, № 11. - P. 1601–1606. <https://doi.org/10.1002/cplu.201500345>.
82. Singh M., Solel E., Keinan E., Reany O. Dual-Functional Semithiobambusurils // *Chemistry – A European Journal*. - 2015. - Vol. 21, № 2. - P. 536–540. <https://doi.org/10.1002/chem.201404210>.
83. Solel E., Singh M., Reany O., Keinan E. Enhanced anion binding by heteroatom replacement in bambusurils // *Physical Chemistry Chemical Physics*. - 2016. - Vol. 18, № 19. - P. 13180–13185. <https://doi.org/10.1039/C6CP00442C>.
84. Havel V., Babiak M., Sindelar V. Modulation of Bambusuril Anion Affinity in Water // *Chemistry – A European Journal*. - 2017. - Vol. 23, № 37. - P. 8963–8968. <https://doi.org/10.1002/chem.201701316>.
85. Havel V., Svec J., Wimmerova M., Dusek M., Pojarova M., Sindelar V. Bambus[ n ]urils: a New Family of Macrocyclic Anion Receptors // *Organic Letters*. - 2011. - Vol. 13, № 15. - P. 4000–4003. <https://doi.org/10.1021/ol201515c>.
86. Fiala T., Sindelar V. Supramolecular complexes of bambusurils with dialkyl phosphates // *Supramolecular Chemistry*. - 2016. - Vol. 28, № 9–10. - P. 810–816. <https://doi.org/10.1080/10610278.2016.1146278>.
87. Fiala T., Ludvíková L., Heger D., Švec J., Slanina T., Vetráková L., Babiak M., Nečas M., Kulhánek P., Klán P., Sindelar V. Bambusuril as a One-Electron Donor for Photoinduced Electron Transfer to Methyl Viologen in Mixed Crystals // *Journal of the American Chemical Society*. - 2017. - Vol. 139, № 7. - P. 2597–2603. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b08589>.
88. Havel V., Sindelar V., Necas M., Kaifer A.E. Water-mediated inclusion of benzoates and tosylates inside the bambusuril macrocycle // *Chem. Commun.* - 2014. - Vol. 50, № 11. - P. 1372–1374. <https://doi.org/10.1039/C3CC47828A>.
89. Zhumabayeva G., Turebayeva P., Ukhov A., Fedorishin D., Gubankov A., Luchsheva V., Kurzina I., Bakibaev A., Ryskaliyeva R., Abdullina G., Bolysbekova S., Yerkassov R. Development of Novel Composite Biocompatible Materials by Surface Modification of Porous Inorganic Compounds Using Bambus[6]uril // *Materials*. - 2023. - Vol. 16, № 23. - P. 7257. <https://doi.org/10.3390/ma16237257>.
90. Marchenko E., Luchsheva V., Baigonakova G., Bakibaev A., Vorozhtsov A. Functionalization of the Surface of Porous Nickel–Titanium Alloy with Macrocyclic Compounds // *Materials*. - 2022. - Vol. 16, № 1. - P. 66. <https://doi.org/10.3390/ma16010066>.
91. Turebayeva P., Guslyakov A.N., Novikova S.A., Khlebnikov A.I., Befus E.A., Meshcheryakov E.P., Bakibaev A.A., Kusepova L., Kassenova N., Sharipova S., Yerkassov R. Absorption of Water Vapor by Bambus[6]uril and a Density Functional Theory Study of Its Aqua Complexes // *Molecules*. - 2023. - Vol. 28, № 23. - P. 7680. <https://doi.org/10.3390/molecules28237680>.

92. Turebayeva P., Luchsheva V., Fedorishin D., Yerkassov R., Bakibaev A., Bolysbekova S., Tugambayeva T., Sergazina S., Nurmukhanbetova N. Nanoparticles Based on Silver Chloride and Bambusuril[6] for the Fine-Tuning of Biological Activity // International Journal of Molecular Sciences. - 2023. - Vol. 24, № 22. - P. 16126. <https://doi.org/10.3390/ijms242216126>.
93. Fedotova O.Y. Polyurea. // Encyclopedia of Polymers. - 1974. - V.2. - P.1011-1013. [In Russian]
94. Fedotova O.Y., Novikova L.I. Synthesis and properties of polyurea from diamines and diisocyanates. // Dep. VINITI №7/26-V87. - M., 1987/ - 36p. [In Russian]
95. Gruin J. Polynitrilurethane-urea and polynitrilurethane-urea elastomers. // Polymery-tovorzywa weilkoczaszkowe. - 1987. - Vol.32, N11/12. - P.451- 452 (Translation of VCP.-#3-15472). [In Russian]
96. Dominguez R.J.G., Rice D.M., Grigsby R.A. Polyurea RIM: Novel Applications and Technical Advances // Journal of Elastomers & Plastics. - 1987. - Vol. 19, № 4. - P. 275-286. <https://doi.org/10.1177/009524438701900404>.
97. Romanov N.M. Chemistry of urea- and melamine- formaldehyde resins. -M.: LLC "Advanced Solutions", 2016. - 528 p. [In Russian]
98. Dunky M. Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood // International Journal of Adhesion and Adhesives. - 1998. - Vol. 18, № 2. - P. 95-107. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(97\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(97)00054-7).
99. Pizzi A.; Mittal K.L. Handbook of Adhesive Technology. - New York: Taylor & Francis Group, 2003. - 999 p.
100. Mioduski C. Gumiński D. Zeng. IUPAC-NIST Solubility Data Series. 94. Rare Earth Metal Iodides and Bromides in Water and Aqueous Systems. Part 1. Iodides / // J. Phys. Chem. Ref. Data. - 2012. - V. 41, № 1. - P. 1-63. [In Russian]
101. Labrini Drakopoulou, Constantina Papatriantafyllopoulou, Aris Terzis, Spyros P. Perlepes, Evy Manessi-Zoupa, Giannis S. Papaefstathiou. Synthesis, X-Ray Structure, and Characterization of a Complex Containing the HexakisUrcobalt(II) Cation and Lattice Urea Molecules / // Bioinorganic Chemistry and Applications. - 2007. - V. 2007. - P. 1-7. [In Russian]
102. Ibrahim O.B., Refat M.S., Salman M., Al-Majthoub M.M. Chemical Studies on the Uses of Urea Complexes to Synthesize Compounds Having Electrical and Biological Applications // International Journal of Material Science. - 2012. - V. 2, № 3. - P. 67-82. [In Russian]
103. Melnikov N.N., Volkov A.I., Korotkova O.A. Urea derivatives. / In Vn.: Pesticides and Environment. Chemistry. - M., 1977. - P.129-138. [In Russian]
104. Isayeva L.I. New herbicides for cereals. // Plant Protection. - 1990. - №3. - P.62-63. [In Russian]
105. Melnikov N.N. Modern directions of creation of new pesticides // Agrochemistry. - 1993. - №10. - P.80-118
106. Rosenthal I., Wender I. Organic syntheses via metal carbonyls. - Vol.1 - M., Mir, 1970. - 348 p.
107. De Loos M., Van Esch J., Kellogg R.M., Feringa B.L. Chiral Recognition in Bis-Urea-Based Aggregates and Organogels through Cooperative Interactions // Angewandte Chemie International Edition. - 2001. - Vol. 40, № 3. - P. 613-616. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010202\)40:3<613::AID-ANIE613>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010202)40:3<613::AID-ANIE613>3.0.CO;2-K).
108. Kim M.-J., Park N.-G. Urea as a long-term stable alternative to guanidium thiocyanate additive in dye-sensitized solar cell // Applied Surface Science. - 2012. - Vol. 258, № 22. - P. 8915-8918. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.116>.
109. Chang C., Zhang L., Zhou J., Zhang L., Kennedy J.F. Structure and properties of hydrogels prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solutions // Carbohydrate Polymers. - 2010. - Vol. 82, № 1. - P. 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.033>.
110. Xue S., Pei D., Jiang W., Mu Y., Wan X. A simple and fast formation of biodegradable poly(urethane-urea) hydrogel with high water content and good mechanical property // Polymer. - 2016. - Vol. 99. - P. 340-348. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2016.07.034>.
111. Fastnacht K.V., Spink S.S., Dharmaratne N.U., Pothupitiya J.U., Datta P.P., Kiesewetter E.T., Kiesewetter M.K. Bis- and Tris-Urea H-Bond Donors for Ring-Opening Polymerization: Unprecedented Activity and Control from an Organocatalyst // ACS Macro Letters. - 2016. - Vol. 5, № 8. - P. 982-986. <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.6b00527>.
112. Doi T., Kajimura K., Takatori S., Fukui N., Taguchi S., Iwagami S. Simultaneous measurement of diazolidinyl urea, urea, and allantoin in cosmetic samples by hydrophilic interaction chromatography

// Journal of Chromatography B. - 2009. - Vol. 877, № 10. - P. 1005–1010. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.02.032>.

113. Albèr C., Brandner B.D., Björklund S., Billsten P., Corkery R.W., Engblom J. Effects of water gradients and use of urea on skin ultrastructure evaluated by confocal Raman microspectroscopy // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes. - 2013. - Vol. 1828, № 11. - P. 2470–2478. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2013.06.011>.

114. Mashkovsky M.D. Medicines. 16th edition, revised, corrected and supplemented. - Reference edition Moscow: LLC "RIA 'Novaya volna', 2012. - 386 p. [In Russian]

115. Boldyrev A.I. Epilepsy in adults. - Moscow: Medicine, 1984. - 288 p. [In Russian]

116. Bakibaev A.A., Novozheeva T.P., Akhmedjanov R.R., Saratikov A.S. Phenobarbital-type inducers. // Chem.-pharm. journ. - 1995. - №3. - P.3-13. [In Russian]

117. Bakibaev A.A., Gorshkova V.K., Saratikov A.S. Antihypoxic properties of organic compounds. // Chem.-pharm. journ. - 1997. - №2. - P.3-16. [In Russian]

118. Saratikov A.S., Akhmedjanov R.R., Bakibaev A.A., Khlebnikov A.I., Novozheeva T.P., Bystritsky E.L. Regulators of enzymatic detoxification systems among nitrogen-containing compounds. - Tomsk: Siberian Publishing House, 2002. - 264 p. [In Russian]

119. Law V., Knox C., Djoumbou Y., Jewison T., Guo A.C., Liu Y., Maciejewski A., Arndt D., Wilson M., Neveu V., Tang A., Gabriel G., Ly C., Adamjee S., Dame Z.T., Han B., Zhou Y., Wishart D.S. DrugBank 4.0: shedding new light on drug metabolism // Nucleic Acids Research. - 2014. - Vol. 42, № D1. - P. D1091–D1097. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1068>.

120. Davies M., Nowotka M., Papadatos G., Dedman N., Gaulton A., Atkinson F., Bellis L., Overington J.P. ChEMBL web services: streamlining access to drug discovery data and utilities // Nucleic Acids Research. - 2015. - Vol. 43, № W1. - P. W612–W620. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv352>.

**А.А. Бакибаев**

*Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей*

### **Мочевинаның пребиотикалық молекуладан эволюциясы супрамолекулалық архитектура (шолу)**

**Аңдатпа:** Мақалада мочевина бір жағынан архетиптік пребиотикалық қосылыс ретінде, ал екінші жағынан құрамында оттегі бар реактивті қосылыстар көрсетілген, олар әртүрлі ациклді және гетероциклді карбамид-құрамды заттар түріндегі химиялық қосылыстардың көптеген түрлерінің түзілуіне негіз болып табылатыны көрсетілген. Құрамында мочевина бар заттардың ішінде бұл жұмыста жаңа макроциклді және супрамолекулалық жүйелерді қоса алғанда, синтетикалық органикалық химияда бастапқы құрылыс материалы ретінде мочевинаның пребиотикалық мономерін пайдалануға ерекше назар аударылады. Мочевина химиясы бойынша жүргізілген тәжірибелердің көпшілігі пребиотик тәрізді жағдайлардан алыс жағдайда жүргізілгенімен, жүргізілген зерттеулердің кейбір аралық нәтижелері азотты құрамдас күрделі органикалық молекулалардың түзілу траекториясына жол ашады, олар мочевина мен реактивті компоненттерді итерациялық жинақтау. Ұсынылған жұмыста ациклді және гетероциклді мочевиналардың практикалық қолдануының әртүрлі салаларына айтарлықтай көңіл бөлінеді. Көптеген құнды ациклді және гетероциклді мочевиналардың ішінде адам өмірінде практикалық қолданысын тапқан ең маңызды заттар бөлек анықталған. Мочевинаның химиясы мен қолданылуы туралы жалпылама мәліметтер оның химия, физика, материалтану және медицина салаларындағы білімдердің жақындасуы арқылы тұрақты дамуын көрсетеді.

**Түйін сөздер:** мочевина, пребиотиктер, эволюция, ациклді және гетероциклді мочевина бар заттар, гликолурилдер, кукурбитурилдер, бамбусурилдер, супрамолекулалық жүйелер.



**А.А. Бакибаев**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

### **Эволюция мочевины от пребиотической молекулы до супрамолекулярной архитектуры (обзор)**

**Аннотация:** В статье показано, что мочевина - как архетипическое пребиотическое соединение, с одной стороны, и реакционноспособные кислородсодержащие соединения, с другой стороны, служат основой для формирования большого репертуара химических соединений, которые представлены различными ациклическими и гетероциклическими карбамидсодержащими веществами. В ряду карбамидсодержащих веществ в данной работе отдельное внимание уделено использованию пребиотического мономера мочевины в качестве стартового строительного блока в синтетической органической химии, в том числе и новых макроциклических и супрамолекулярных систем. Несмотря на то, что большинство выполненных экспериментов по химии мочевины проводились в условиях, которые далеки от пребиотикоподобных состояний, некоторые промежуточные результаты проведенных исследований открывают путь на траектории формирования сложных азотсодержащих органических молекул, которые могут появиться в результате итеративной сборки мочевины и реакционноспособных компонентов. В предлагаемой работе значительное внимание обращено различным областям практического применения ациклических и гетероциклических мочевины. Среди многочисленных ценных ациклических и гетероциклических мочевины отдельно выделены важнейшие вещества, нашедшие практическое приложение в человеческой жизнедеятельности. Обобщенные сведения о химии и применения мочевины указывают на постоянное ее развитие путем конвергенции знаний в области химии, физики, материаловедения и медицины.

**Ключевые слова:** мочевина, пребиотики, эволюция, ациклические и гетероциклические карбамидсодержащие вещества, гликольбурилы, кукурбитурилы, бамбусурилы, супрамолекулярные системы.

#### **Information about the authors:**

**Bakibaev A.A.** – author, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Organic Synthesis of the National Research Tomsk State University, Lenin Ave., 36, 634050, Tomsk, Russia.

**Бакибаев А.А.** – автор, химия ғылымдарының докторы, профессор, Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университетінің органикалық синтез зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Ленин даңғылы, 36, 634050, Томск, Ресей.



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 31.15.33

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-57-66>

Научная статья

## Переработка пластиковых бутылок в твердый углерод для литий-ионных аккумуляторов

Д. Ескожа<sup>1\*</sup> , А. Жанайхан<sup>2</sup> , А. Сарсенгалиева<sup>3</sup> , Л. Кусепова<sup>4</sup> ,  
Г. Тажкенова<sup>5</sup> , А. Нурпеисова<sup>6</sup> 

<sup>1,2,3,6</sup>Институт аккумуляторов, Астана, Казахстан

<sup>2,3,4,5</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>6</sup>Национальная лаборатория Астана, Астана, Казахстан

(E-mail: <sup>1</sup>[dos.eskozha@gmail.com](mailto:dos.eskozha@gmail.com), <sup>2</sup>[aisha.zhanaikhan@gmail.com](mailto:aisha.zhanaikhan@gmail.com),  
<sup>3</sup>[saizhuzzaa@gmail.com](mailto:saizhuzzaa@gmail.com), <sup>4</sup>[kusepova71@mail.ru](mailto:kusepova71@mail.ru), <sup>5</sup>[gaukhar-1970@mail.ru](mailto:gaukhar-1970@mail.ru),  
<sup>6</sup>[arailym.nurpeissova@nu.edu.kz](mailto:arailym.nurpeissova@nu.edu.kz))

**Аннотация.** Проблема увеличения объема пластиковых отходов становится все более актуальной в связи с ростом производства пластиковых изделий для упаковки, бытовых целей, а также применением полимеров в текстильной промышленности, строительстве, медицине и многих других сферах. Пластиковые предметы занимают значительную долю загрязняющих веществ на суше и море. В ходе данного исследования был проведен анализ полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полученного из одноразовых бутылок, как потенциальное сырье для производства анодных материалов для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) ввиду его высокого наличия углерода и большого количества эфирных связей.

Электрохимические исследования указали, что аноды на основе полиэтилентерефталата с модифицированной поверхностью PЕТ-ДН обладают выдающимися характеристиками хранения лития. Аноды PЕТ-ДН демонстрируют стабильно высокую удельную емкость после многократных циклов зарядки-разрядки, что свидетельствует о перспективности их использования в долговечных ЛИА.

**Ключевые слова:** растворители, твердый углерод, анодный материал для ЛИА.

Поступила: 16.09.2024. Одобрена: 19.12.2024. Доступна онлайн: 31.12.2024.

\* Автор-корреспондент



## Введение

Одним из наиболее негативных результатов антропогенной деятельности является образование отходов, среди которых отходы пластмасс занимают особое место в силу своих уникальных свойств [1-3].

Широкое использование пластиковых изделий для бытовых и промышленных нужд объясняется их лёгкостью, экономичностью и набором ценнейших служебных свойств. В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и в связи с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом [4].

Наиболее стремительно растущий в настоящее время сегмент полимерной упаковочной индустрии – производство ПЭТФ-упаковки. Полиэтилентерефталат – продукт поликонденсации терефталевой кислоты. На данный момент он занимает ведущее место среди упаковочных материалов, тара из ПЭТФ отличается прозрачностью, лёгкостью, прочностью, высокой герметичностью. Из ПЭТФ изготавливают многообразные бутылки, пленки, которые применяют в пищевой промышленности, аморфные ПЭТФ-пленки и тому подобное. Учитывая такую широкую номенклатуру изделий из этого материала, становится понятным вопрос относительно утилизации использованной упаковки [5-7]. Переработка неразлагаемых пластиков в ценные углеродные материалы является одним из перспективных направлений решения этой проблемы. Однако большинство пластиков не содержат углеродных остатков или превращаются в графит с высоким содержанием углерода во время пиролиза из-за отсутствия кислородсодержащих функциональных групп. В связи с этим в качестве объекта исследования были выбраны отходы пластика ПЭТФ, обладающие высоким содержанием эфирных связей, которые могут быть непосредственно преобразованы в твердый углерод [8].

Наличие функциональных групп на поверхности материала, преимущественно кислородсодержащих, может приводить к увеличению его щелочности и расширению сферы применения. Дальнейшее исследование изменений структур, происходящих с углеродным материалом в процессе пиролиза и последующей активации, позволит выявить дополнительные возможности его использования.

При синтезе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) для получения анодного материала для ЛИА выбор растворителя может существенно повлиять на свойства конечного материала и на его производительность. 1,1,1,3,3,3 -гексафтор-2-пропанол обладает отличной растворимостью для терефталевой кислоты и может способствовать получению высококачественного ПЭТФ с однородной молекулярной массой. Это может улучшить свойства анодного материала, такие, как электропроводность и стабильность.

## Материалы и методы

### *Подготовка материалов*

Начальным этапом получения анодного материала для ЛИА был выбор ПЭТФ-бутылок. Бутылки были порезаны на мелкие пластины и промыты этанолом, после чего были высушены в вакуумной печи в течение суток.

Измельченный пластик был растворен в смеси. Для растворения пластика использовали смеси растворителей 1,1,1,3,3,3 -гексафтор-2-пропанол (ГФИП) и трифторуксусной кислоты (ТФУ), и дихлорметан (ДХМ) и трифторуксусной кислоты (ТФУ) в объемных соотношениях 7:3, с массовой долей пластика в растворе 20%.

Растворители были выбраны исходя из реологических показателей продуктового раствора, изученных в работе [9]. Полученные в результате растворения образцы были наименованы путем обозначения состава смесей растворителей (DH для смеси ДХМ и ГФИП и DT для смеси ДХМ и ТФУ) и их соотношений («73» для обозначения 7:3) с последующим указанием соотношения массы ПЭТФ в объем растворителя («2-20» для обозначения 2 грамм ПЭТФ в 20 мл смеси растворителей). Магнитная мешалка использовалась при 100 об/мин в течение 4 часов, после чего оставляли высушиваться на воздухе в течение 12 часов. Высушенные образцы перекладывали в керамические тигли и отправлялись в трубчатую печь для дальнейшего этапа прокали в атмосфере аргона при 750°C.

Полный процесс получения твердого углерода из ПЭТФ изображена на рисунке 1.



Рисунок 1. Процесс карбонизации ПЭТФ

#### Электрохимические анализы

Рабочий электрод был изготовлен при использовании поливинилиденфторид (ПВДФ), N-метил-2-пирролидона (НМП) и ацетиленовый черный при комнатной температуре. Гальваностатический анализ заряд-разряда углеродных анодных материалов позволил изучить электрохимические характеристики данных электродных материалов.

#### Результаты и обсуждение

Как видно на рисунке 2а и 2б, рентгенограммы всех образцов имеют схожий вид. Положение и полуширокая форма пиков хорошо согласуются с полученными результатами для аморфного углерода.

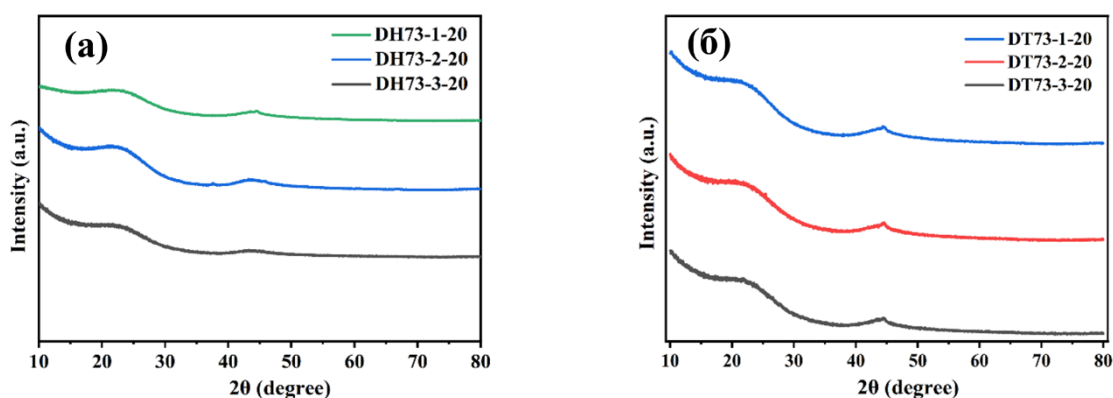


Рисунок 2. Рентгенограмма образцов, растворенных в: а) ГФИП; б) ДХМ

Рамановская спектроскопия была применена для исследования изменений в структуре материала. На рисунке 3 представлены Рамановские спектры углеродного материала DH-73-2-20 (ПЭТФ). Спектр соответствует профилю необработанного ПЭТФ,

что указывает на отсутствие разрушения структуры ПЭТФ при растворении в смеси растворителей и свидетельствует о том, что полученные образцы не содержат растворителя. Анализ карбонизированного образца методом Рамановской спектроскопии выявил два доминирующих пика:  $1353\text{ см}^{-1}$  (D) и  $1607\text{ см}^{-1}$  (G) для образца ДН-73-2-20. Пик D, связанный с дефектами в структуре, обусловлен внеплоскостными колебаниями, которые возникают из-за беспорядка и дефектов в слоях графена, пик G соответствует высокоупорядоченной графитовой углеродной структуре.

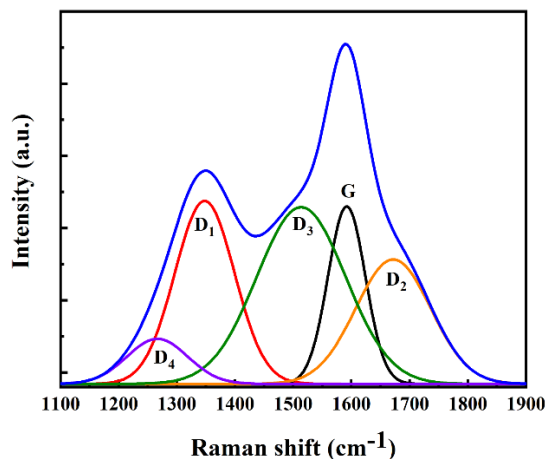


Рисунок 3. Рамановские спектры образца ДН-73-2-20

На рисунке 4 представлены результаты СЭМ, которые показали, что углеродные материалы, полученные из ПЭТФ в ГФИП и ДХМ, имеют схожую морфологию, что указывает на отсутствие видимых различий в их структуре. В обоих случаях наблюдаются аналогичные текстуры поверхности, распределение пор и форма частиц. Тем не менее углеродные аноды, полученные из ГФИП, демонстрируют лучшую электродную активность. Это предполагает, что факторы, не связанные непосредственно с видимой морфологией, такие, как химический состав, микроструктурные особенности или степень графитизации, могут играть более значимую роль в определении производительности анодов.

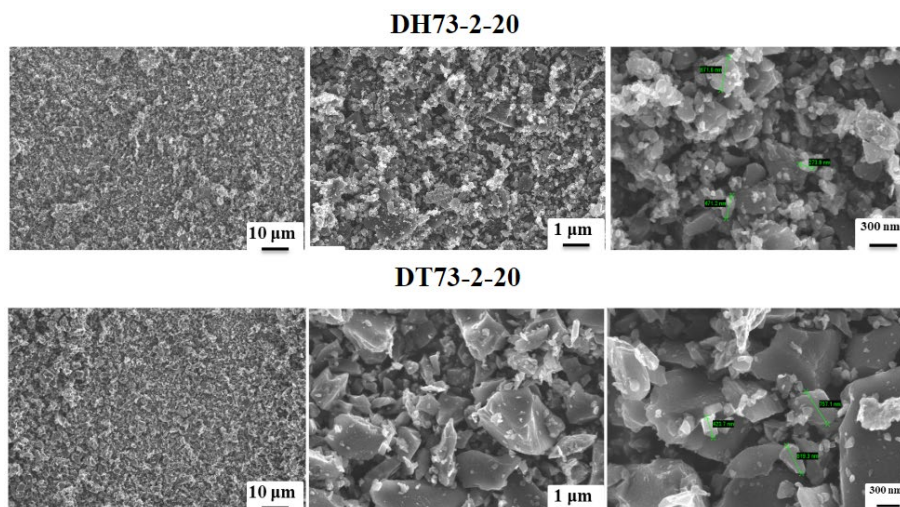


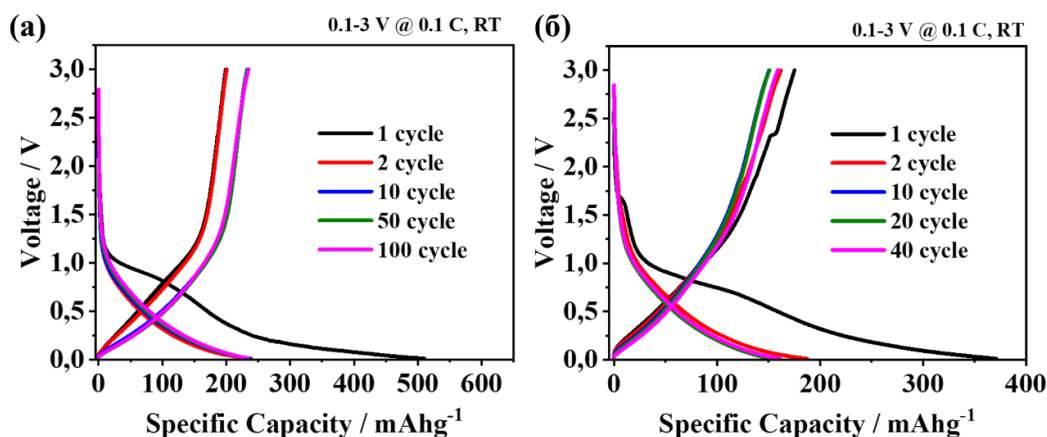
Рисунок 4. Результаты СЭМ анализа для ДН-73-2-20 и ДТ-73-2-20

Электрохимическая характеристика

Гальваностатические профили заряда-разряда.

Гальваностатические

характеристики заряд-разряда углеродных материалов, используемых в качестве анодов в ЛИА и подвергнутых циклическому воздействию при плотности тока 100 мАч/г в диапазоне напряжений от 0,01 до 3 В относительно Li/Li<sup>+</sup>, представлены на рисунке 5. Следует отметить, что в процессе тестирования не проводилась первоначальная активация при более низкой плотности тока.



**Рисунок 5.** Гальваностатические профили заряд-разряда углеродных анодных материалов, полученных из ПЭТФ, для образцов (а) DH73-2-20 (1-х, 2-х, 10-х, 50-х и 100-х циклов) и (б) DT73-2-20 (1-х, 2-х, 10-х, 20-х и 40-х циклов), исследованных при плотности тока 100 мАч/г в диапазоне напряжений 0,01-3 В относительно Li/Li<sup>+</sup>, при комнатной температуре

Все профили соответствуют характерным кривым заряд - разряда псевдографитовых углеродных материалов, применяемых в качестве анодов в ЛИА, демонстрируя расширенное плато на начальных кривых разряда [10, 11]. Аноды DH73-2-20 и DT73-2-20 в первом цикле имеют плотность энергии разряда порядка 510 и 370 мАч/г, соответственно. При этом кулоновская эффективность в первом цикле составляет примерно 46% (DH73-2-20) и 53%(DT73-2-20). Это указывает на то, что анод DT73-2-20 демонстрирует наибольшую потерю емкости в первом цикле (около 350 мАч/г), в то время как анод DH73-2-20 показывает наименьшую потерю емкости (около 210 мАч/г). Эти значительные необратимые потери емкости в первом цикле, сопровождающиеся низкой кулоновской эффективностью, являются характерными для углеродных анодных материалов и обусловлены разложением электролита и образованием твердой электролитной межфазной пленки на поверхности анода [12]. Кроме того, разупорядоченность углеродной структуры способствует значительной потере емкости в первом цикле, поскольку ионы Li<sup>+</sup> могут задерживаться в порах углеродной матрицы [13]. Эти наблюдения согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа, который показал, что ПЭТФ имеет сильно неупорядоченную углеродную структуру, что может объяснять более высокие потери емкости и низкую кулоновскую эффективность. Во втором цикле наблюдается снижение разрядной способности и потери мощности для всех анодов, сопровождаемое увеличением кулоновской эффективности. Эти тенденции сохраняются до 100-го цикла, за исключением того, что разрядная способность анодов, как правило, увеличивается, начиная со второго цикла. Это может быть связано с улучшением структурной стабильности анодных материалов после формирования твердой электролитной межфазной пленки в первом цикле. Для сравнения: углеродный анодный материал (DH73-2-20) демонстрирует лучшие электрохимические

характеристики по сравнению с аналогом (DH73-2-20), что объясняется его более высокой графитизацией и упорядоченностью. Гальваностатические характеристики заряд-разряда углеродных анодных материалов также изучались при плотности тока 100 мАч/г в диапазоне напряжений 0,01-3 В относительно Li/Li<sup>+</sup> при комнатной температуре. Известно, что плотность тока зарядного цикла оказывает значительное влияние на кинетику электрохимических процессов. Как правило, при снижении плотности тока в электродные материалы может быть введено больше ионов Li<sup>+</sup>, что приводит к увеличению емкости и кулоновской эффективности [14, 15]. В целом анод DH73-2-20 демонстрирует наилучшие электрохимические характеристики.

## Заключение

В ходе исследования были разработаны псевдографитовые твердые углероды методом пиролиза полученные из отходов ПЭТФ-бутылок.

Анодный материал DH73-2-20 обладает высокой начальной кулоновской эффективностью, удельной производительностью и стабильные циклические характеристики, что делает его перспективным для применения в ЛИА. Результаты показывают, что электрохимические параметры твердых углеродов определяются их микроструктурными свойствами, зависящими от вида растворителей. Сравнение с современными ЛИА подтверждает, что DH73-2-20 обладает потенциалом для улучшения и удовлетворяет требование крупномасштабного производства ЛИА.

Таким образом, полученный твердый углерод DH73-2-20 демонстрирует значительный потенциал в качестве анодов для ЛИА, которая открывает возможности для их дальнейшего развития и применения в энергетических устройствах.

**Финансирование:** исследовательская работа выполнена в рамках проекта AP23483880 «Устойчивая переработка пластиковых отходов для хранения энергии», Комитет науки и высшего образования РК.

**Конфликт интересов:** нет конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Идея и концепция исследования разработаны Е. Досымом и А. Нурпеисовой. Эксперименты выполнены А. Жанайхан и А. Сарсенгалиевой. Анализ данных провел Д. Ескожа. Текст статьи подготовлен и отредактирован всеми авторами. Руководство проектом осуществляла А. Нурпеисова.

## Список литературы

1. Efimov M.N., Vasilev A.A., Muratov D.G., Kostev A.I., Kolesnikov E.A., Kiseleva S.G., Karpacheva G.P. Conversion of polyethylene terephthalate waste into high-yield porous carbon adsorbent via pyrolysis of dipotassium terephthalate // Waste Management. - 2023. - Vol. 162. - P. 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.019>.
2. Супрун Л.В., Романенко С.В., Цыганкова Т.С. Анализ и решение проблемы утилизации и вторичной переработки полиэтилентерефталат (ПЭТФ) отходов в городе Томске // Вестник науки Сибири. - 2012. - №4(5) - С. 107-112 <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15908>
3. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Молодой ученый. - 2013. - № 5 (52). - С. 123-125. — URL: <https://moluch.ru/archive/52/6954/>
4. Lotfabad E.M., Ding J., Cui K., Kohandehghan A., Kalisvaart W.P., Hazelton M., Mitlin D. High-Density Sodium and Lithium Ion Battery Anodes from Banana Peels // ACS Nano. - 2014. - Vol. 8, № 7. - P. 7115-7129. <https://doi.org/10.1021/nn502045y>.



5. Liu M., Zhang Z., Dou M., Li Z., Wang F. Nitrogen and oxygen co-doped porous carbon nanosheets as high-rate and long-lifetime anode materials for high-performance Li-ion capacitors // Carbon. - 2019. - Vol. 151. - P. 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.05.065>.
6. Zhang T., Mao J., Liu X., Xuan M., Bi K., Zhang X.L., Hu J., Fan J., Chen S., Shao G. Pinecone biomass-derived hard carbon anodes for high-performance sodium-ion batteries // RSC Advances. - 2017. - Vol. 7, № 66. - P. 41504–41511. <https://doi.org/10.1039/C7RA07231G>.
7. Wu L., Buchholz D., Vaalma C., Giffin G.A., Passerini S. Apple-Biowaste-Derived Hard Carbon as a Powerful Anode Material for Na-Ion Batteries // ChemElectroChem. - 2016. - Vol. 3, № 2. - P. 292–298. <https://doi.org/10.1002/celec.201500437>.
8. Xing B., Zeng H., Huang G., Jia J., Yuan R., Zhang C., Sun Q., Cao Y., Chen Z., Liu B. Magnesium citrate induced growth of noodle-like porous graphitic carbons from coal tar pitch for high-performance lithium-ion batteries // Electrochimica Acta. - 2021. - Vol. 376. - P. 138043. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138043>.
9. Mahalingam S., Raimi-Abraham B.T., Craig D.Q.M., Edirisinghe M. Solubility–spinnability map and model for the preparation of fibres of polyethylene (terephthalate) using gyration and pressure // Chemical Engineering Journal. - 2015. - Vol. 280. - P. 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.114>.
10. Alvin S., Yoon D., Chandra C., Cahyadi H.S., Park J.-H., Chang W., Chung K.Y., Kim J. Revealing sodium ion storage mechanism in hard carbon // Carbon. - 2019. - Vol. 145. - P. 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.12.112>.
11. Bobyleva Z.V., Drozhzhin O.A., Dosaev K.A., Kamiyama A., Ryazantsev S.V., Komaba S., Antipov E.V. Unveiling pseudocapacitive behavior of hard carbon anode materials for sodium-ion batteries // Electrochimica Acta. - 2020. - Vol. 354. - P. 136647. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136647>.
12. Wang L., Schnepf Z., Titirici M.M. Rice husk-derived carbon anodes for lithium ion batteries // Journal of Materials Chemistry A. - 2013. - Vol. 1, № 17. - P. 5269. <https://doi.org/10.1039/c3ta10650k>.
13. Gaddam R.R., Yang D., Narayan R., Raju K., Kumar N.A., Zhao X.S. Biomass derived carbon nanoparticle as anodes for high performance sodium and lithium ion batteries // Nano Energy. - 2016. - Vol. 26. - P. 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.05.047>.
14. Arrebola J.C., Caballero A., Hernán L., Morales J., Olivares-Marín M., Gómez-Serrano V. Improving the Performance of Biomass-Derived Carbons in Li-Ion Batteries by Controlling the Lithium Insertion Process // Journal of The Electrochemical Society. - 2010. - Vol. 157, № 7. - P. A791. <https://doi.org/10.1149/1.3425728>.
15. Yu H., Kim H., Wang Y., He P., Asakura D., Nakamura Y., Zhou H. High-energy ‘composite’ layered manganese-rich cathode materials via controlling Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub> phase activation for lithium-ion batteries // Physical Chemistry Chemical Physics. - 2012. - Vol. 14, № 18. - P. 6584. <https://doi.org/10.1039/c2cp40745k>.

Д. Есқожа<sup>1</sup>, А. Жанайхан<sup>2</sup>, А. Сәрсенғалиева<sup>3</sup>,  
Л. Кусепова<sup>4</sup>, Г. Тажкенова<sup>5</sup>, А. Нурпейсова<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,6</sup>Аккумуляторлар Институты, Астана, Қазақстан

<sup>2,3,4,5</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>6</sup>Астана ұлттық зертханасы, Астана, Қазақстан

### Пластик бөтелкелерді литий-ионды батареяға арналған қатты көміртекке өңдеу

**Аңдатпа:** Пластик қалдықтың көлемінің ұлғайу мәселесі пластиктен жасалған бұйымдардың санының өсуіне, күнделікті тұрмыста, қаптау жасауда, құрылыс саласында, медицинада және басқа да көптеген салаларда үлкен сұранысқа ие болуына байланысты одан әрі өзекті болып барады. Теңіз бен құрлықты ластаушы заттың ішінде пластиктен жасалған бұйымдар айтарлықтай орын алады [1]. Зерттеу жұмыстары барысында литий-ионды аккумуляторға (ЛИА) анод материалдар өндірісі үшін ықтималдығы жоғары шикі зат ретінде құрамында көміртегі үлесі және эфирлік байланыстары жоғары болуына бірреттік қолданылған бөтелкеден алынған полиэтилентерефталларға (ПЭТФ) зерттеу жұмыстары жасалды [2].

Бұл жұмыста ПЭТФ қалдықтары екі еріткіште (дихлорметан (ДХМ) и 1,1,1,3,3,3 -гексафтор-2-пропанол (ГФИП)) синтезделіп, алынған қатты көміртектің электрохимиялық

қасиеттерін салыстыру үшін өңделді. Синтезделген көміртектер әртүрлі әдістер арқылы зерттелді, рентгендік құрылымдық талдау (РҚТ), сканирлеуші электрондық микроскопия (СЭМ), және Раман спектроскопиясы. Бұл әдістер арқылы сынаманың құрылымдық және термиялық қасиеттері туралы ақпарат алуға мүмкіндік берді.

Полиэтилентерефталаттың негізіндегі беттік қабаты модификацияланған PET-DH аноды литий сақтау үшін керемет сипаттамаға ие екенін электрохимиялық талдаулар көрсетті. Оларға жоғары меншікті сыйымдылық және жоғары зарядтау-разряд жылдамдығы жатады. Бұл көрсеткіштер оның аналогы PET-DT анодының сипаттамасынан әлдеқайда жоғары. Сонымен қатар, PET-DH аноды көп ретті заряд-разряд циклынан кейін тұрақты жоғары меншікті сыйымдылықты көрсетті, бұл оның ұзақ уақытты ЛИА үшін қолдануға тиімді екеніне дәлел.

**Түйін сөздер:** еріткіштер, қатты көміртек, ЛИА-ға арналған анод материал.

**D. Yeskozha<sup>1</sup>, A. Zhanaikhan<sup>2</sup>, A. Sarsengaliyeva<sup>3</sup>,**

**L. Kusepova<sup>4</sup>, G. Tazhkenova<sup>5</sup>, A. Nurpeissova<sup>6</sup>**

*<sup>1,2,3,6</sup>Institute of Batteries, Astana, Kazakhstan*

*<sup>2,3,4,5</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

*<sup>6</sup>National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan*

### **Upcycling of plastic bottles into Hard Carbon for Li-ion batteries**

**Abstract:** The issue of increasing plastic waste is becoming increasingly pressing due to the rise in production of plastic products for packaging, household use, and the application of polymers in the textile industry, construction, medicine, and many other fields [1]. Plastic items contribute significantly to pollution on land and at sea. This study analyzed polyethylene terephthalate (PET) derived from single-use bottles as a potential raw material for producing anode materials for lithium-ion batteries (LIBs) due to its high carbon content and numerous ester bonds [2].

In this work, PET waste was processed using two solvents (dichloromethane (DCM) and 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP)) to produce solid carbon for comparing the electrochemical properties of the resulting carbons. The synthesized carbon was examined using various techniques such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and Raman spectroscopy, revealing its structural and thermal properties.

Electrochemical studies indicated that PET-based anodes with a modified surface (PET-DH) exhibit exceptional lithium storage characteristics, including high specific capacity and excellent charge-discharge rates. These metrics significantly surpass those of PET-DT anodes. Moreover, PET-DH anodes show consistently high specific capacity after multiple charge-discharge cycles, indicating their potential for use in long-lasting LIBs.

**Keywords:** solvents, hard carbon, anode material for LIB

### **References**

1. Efimov M.N., Vasilev A.A., Muratov D.G., Kostev A.I., Kolesnikov E.A., Kiseleva S.G., Karpacheva G.P. Conversion of polyethylene terephthalate waste into high-yield porous carbon adsorbent via pyrolysis of dipotassium terephthalate // Waste Management. - 2023. - Vol. 162. - P. 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.019>.
2. Suprun L.V., Romanenko S.V., Cygankova T.S. Analiz i reshenie problemy utilizacii i vtorichnoj pererabotki polijetilentereftalat (PJeTF) othodov v gorode Tomske [Analysis and solution of the problem of recycling and recycling of polyethylene terephthalate (PET) waste in the city of Tomsk] // Vestnik nauki Sibiri [BULLETIN of Science of Siberia]. 2012. №4(5). P. 107-112 <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15908>
3. Chuprova L.V., Mullina E.R. Tehnologicheskie osobennosti proizvodstva upakovki iz vtorichnogo polijetilentereftalata (PJeT) [Technological features of the production of packaging from recycled polyethylene terephthalate (PET)] // Molodoj uchenyj [Young scientist]. 2013. № 5 (52). - P. 123-125. - URL: <https://moluch.ru/archive/52/6954/>



4. Lotfabad E.M., Ding J., Cui K., Kohandehghan A., Kalisvaart W.P., Hazelton M., Mitlin D. High-Density Sodium and Lithium Ion Battery Anodes from Banana Peels // ACS Nano. - 2014. - Vol. 8, № 7. - P. 7115–7129. <https://doi.org/10.1021/nn502045y>.
5. Liu M., Zhang Z., Dou M., Li Z., Wang F. Nitrogen and oxygen co-doped porous carbon nanosheets as high-rate and long-lifetime anode materials for high-performance Li-ion capacitors // Carbon. - 2019. - Vol. 151. - P. 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.05.065>.
6. Zhang T., Mao J., Liu X., Xuan M., Bi K., Zhang X.L., Hu J., Fan J., Chen S., Shao G. Pinecone biomass-derived hard carbon anodes for high-performance sodium-ion batteries // RSC Advances. - 2017. - Vol. 7, № 66. - P. 41504–41511. <https://doi.org/10.1039/C7RA07231G>.
7. Wu L., Buchholz D., Vaalma C., Giffin G.A., Passerini S. Apple-Biowaste-Derived Hard Carbon as a Powerful Anode Material for Na-Ion Batteries // ChemElectroChem. - 2016. - Vol. 3, № 2. - P. 292–298. <https://doi.org/10.1002/celec.201500437>.
8. Xing B., Zeng H., Huang G., Jia J., Yuan R., Zhang C., Sun Q., Cao Y., Chen Z., Liu B. Magnesium citrate induced growth of noodle-like porous graphitic carbons from coal tar pitch for high-performance lithium-ion batteries // Electrochimica Acta. - 2021. - Vol. 376. - P. 138043. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138043>.
9. Mahalingam S., Raimi-Abraham B.T., Craig D.Q.M., Edirisinghe M. Solubility–spinnability map and model for the preparation of fibres of polyethylene (terephthalate) using gyration and pressure // Chemical Engineering Journal. - 2015. - Vol. 280. - P. 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.114>.
10. Alvin S., Yoon D., Chandra C., Cahyadi H.S., Park J.-H., Chang W., Chung K.Y., Kim J. Revealing sodium ion storage mechanism in hard carbon // Carbon. - 2019. - Vol. 145. - P. 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.12.112>.
11. Bobyleva Z.V., Drozhzhin O.A., Dosaev K.A., Kamiyama A., Ryazantsev S.V., Komaba S., Antipov E.V. Unveiling pseudocapacitive behavior of hard carbon anode materials for sodium-ion batteries // Electrochimica Acta. - 2020. - Vol. 354. - P. 136647. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136647>.
12. Wang L., Schnepf Z., Titirici M.M. Rice husk-derived carbon anodes for lithium ion batteries // Journal of Materials Chemistry A. - 2013. - Vol. 1, № 17. - P. 5269. <https://doi.org/10.1039/c3ta10650k>.
13. Gaddam R.R., Yang D., Narayan R., Raju K., Kumar N.A., Zhao X.S. Biomass derived carbon nanoparticle as anodes for high performance sodium and lithium ion batteries // Nano Energy. - 2016. - Vol. 26. - P. 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.05.047>.
14. Arrebola J.C., Caballero A., Hernán L., Morales J., Olivares-Marín M., Gómez-Serrano V. Improving the Performance of Biomass-Derived Carbons in Li-Ion Batteries by Controlling the Lithium Insertion Process // Journal of The Electrochemical Society. - 2010. - Vol. 157, № 7. - P. A791. <https://doi.org/10.1149/1.3425728>.
15. Yu H., Kim H., Wang Y., He P., Asakura D., Nakamura Y., Zhou H. High-energy ‘composite’ layered manganese-rich cathode materials via controlling Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub> phase activation for lithium-ion batteries // Physical Chemistry Chemical Physics. - 2012. - Vol. 14, № 18. - P. 6584. <https://doi.org/10.1039/c2cp40745k>.

#### Сведения об авторах:

**Ескожа Д.** – автор для корреспонденции, научный сотрудник, Институт аккумуляторов, ул. Кабанбай батыра, 53, 010000, Астана, Казахстан.

ORCID 0009-0007-4799-5286

**Жанайхан А.** – младший научный сотрудник, Институт аккумуляторов, магистрант 1-го курса по образовательной программе «7М05307 - Химия органических веществ и нефтехимия», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

ORCID 0009-0000-0903-0263

**Сарсенгалиева А.** – младший научный сотрудник, Институт аккумуляторов, магистрант 1-го курса по образовательной программе «7М05306 – Физическая химия», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

ORCID 0009-0004-3474-3344

**Кусепова Л.** - кандидат химических наук, доцент кафедры химии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0002-6457-0999

**Тажкенова Г.** - кандидат химических наук, доцент кафедры химии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0003-0491-593X

**Нурпейсова А.** - руководитель и ведущий научный сотрудник лаборатории систем накопления энергии, доктор в области энергетических наук и технологий, Национальная лаборатория Астана, Назарбаев Университет, ул. Кабанбай батыра, 53, 010000, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0002-9657-2964

**Yeskozha D.** - correspondence writer, researcher, Institute of Batteries, 53 Kabanbay Batyr Ave., Astana 010000, Kazakhstan.

ORCID 0009-0007-4799-5286

**Zhanaikhan A.** - junior researcher at the Institute of Batteries, 1st year master's student in specialty "7M05307 - Chemistry of Organic substances and Petrochemistry", L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., 010008, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0009-0000-0903-0263

**Sarsengaliyeva A.** - junior researcher at the Institute of Batteries, 1st year master's student in specialty "7M05306 - Physical Chemistry", L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., 010008, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0009-0004-3474-3344

**Kusepova L.** - candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of chemistry, specialty inorganic chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., 010008, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6457-0999

**Tazhkenova G.** - candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., 010008, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0003-0491-593X

**Nurpeissova A.** - Head and Principal Investigator of the Laboratory of Energy Storage Systems, Doctor in the field of energy sciences and technologies, National Laboratory Astana, Nazarbayev University, 53 Kabanbay Batyr Ave., Astana 010000, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-9657-2964



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 31.15.25

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-67-78>

Научная статья

## Процесс сгорания в присутствии твердотопливного катализатора $Ti_3C_2$ (MXene) на основе перхлората аммония

Ж. Коркембай<sup>1\*</sup> , А.Н. Алипбаев<sup>2</sup> , З.А. Мансуров<sup>3</sup> 

<sup>1,3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

<sup>1</sup>Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

(E-mail: <sup>1</sup>\*janibek\_kk@mail.ru, <sup>2</sup>amanbol-87@mail.ru, <sup>3</sup>ZMansurov@kaznu.kz)

### Аннотация.

Учитывая потребность космических материалов в твердом топливе, их развитие, имеет большое значение совершенствование материалов топлива. Улучшая каталитическую активность катализаторов, используемых в существующих твердых топливах, можно уменьшить последствия, вызванные неблагоприятными характеристиками горения. Каталитические свойства  $Ti_3C_2$  (MXene) двумерных карбидов переходных металлов, имеющих особую структуру, вызывают большой интерес. В этой работе мы рассмотрели каталитическое влияние максина  $Ti_3C_2$  (MXene) на сгорание композитного твердого топлива на основе перхлората аммония. Сжигали образцы в устройстве высокого давления при различных давлениях аргона. Ход горения снимали на высокоскоростную видеокамеру, а температуру измеряли с помощью пирометра. При анализе графика, построенного по полученным значениям параметров, наблюдается улучшение массы и теплообмена при сгорании твердого топлива на основе перхлората аммония с добавлением максена  $Ti_3C_2$  (MXene).

**Ключевые слова:** Нанопорошки  $Ti_3C_2$  (MXene). Перхлорат аммония (ПА). Каталитическая активность. Кинетические параметры. Твердое топливо.

Поступила: 9.10.2024. Одобрена: 30.11.2024. Доступна онлайн: 31.12.2024.

\* Автор-корреспондент

### Введение

Перхлорат аммония – это топливо, состоящее из жидкого горючего, выдает высокую энергию, способную к самопроизвольному иницированию горения, поскольку аммиак и соляная кислота распадаются на поверхности, поддерживая

пламя в газовой фазе с температурой адиабатического пламени около 1400 К. ПА также обладает уникальными характеристиками действия разложения и горения при низких температурах под давлением из-за важности конденсированных фазовых реакций [1]. Эти свойства превратили перхлорат аммония в основной состав композитного твердого топлива, используемого для двигателей космических летательных аппаратов. Однако, несмотря на длительное использование в ракетном топливе, оптимизация сгорания композитного твердого топлива на основе перхлората аммония по-прежнему требует многочисленных научных исследований.

Развитие ракетных технологий воспринимается как важный исследовательский аспект в аэрокосмической промышленности. В последнее время наиболее часто используемые ракеты для коротких и средних дальностей оснащены топливом. Пропелленты широко используются в системах химического возбуждения и являются основным источником доставки химической энергии (движущей силы) к ракетам [2].

Твердое топливо состоит из нескольких химических ингредиентов, таких, как окислитель, топливо, связующее, пластификатор, отвердитель, стабилизатор и сшивающий связующий агент. Точный химический состав зависит от характеристик горения, необходимых для конкретного применения. Два основных вида топлива (однородные и неоднородные) различаются по условиям взаимодействия их составных частей. В однородном топливе ингредиенты химически связаны, а полученная физическая структура везде однородна. Типичными примерами однородного топлива являются одноосновное (нитроцеллюлоза) или двухосновное (нитроцеллюлоза и нитроглицерин) топливо. В гетерогенном или составном топливе ингредиенты физически смешиваются, что приводит к гетерогенной физической структуре. Оно состоит из кристаллических частиц, которые действуют как окислители, и органического пластикового топлива, которое действует как связующее для склеивания окисляющих частиц [3].

Современные высокоэнергетические двигатели используют композитное твердое топливо, состоящее из энергетического наполнителя (10-20%) в качестве окислителей (65-70%), связующих металлических топлив (8-15%) и катализаторов скорости горения (КСГ) (2-5%). Окислители, часто богатые кислородом кристаллические неорганические перхлораты (например, перхлорат аммония (ПА)) и металлическое топливо (алюминий (Al)), служат для производства энергии за счет их взаимодействия [2].

Регулирование производительности горения твердого топлива было давней проблемой в области ракетостроения. Общий метод, используемый для решения этой проблемы, заключается в использовании катализаторов сгорания в топливе для оптимизации тяговой мощности [4]. В этой области существуют различные синтезированные катализаторы горения, такие, как оксиды или фториды переходных металлов, свинцово-медные соли органических кислот, координационные комплексы металлоорганических соединений, соли аммония и органические амины, ферроцен и его производные, соли меди и их хелаты. Несмотря на достигнутый прогресс, традиционные методы выбора и введения катализаторов по-прежнему не соответствуют требованиям к применению и могут поставить под угрозу топливные характеристики. Это связано с тем, что важно отметить, что необходимость модификации поверхности включает добавки, снижающие уровень энергии топлива, что приводит к снижению производительности двигателя [5].

Композитное твердое топливо на основе ПА требует модификаторов горения для достижения высокой скорости горения, в то время как обычные оксиды металлов используются в качестве модификаторов скорости горения [6, 7]. Использование

сверхтонкого ПА может в некоторой степени улучшить характеристики топлива. Тем не менее, ПА изготовлен из одного типа сильного окислителя, и приготовить очень тонкий ПА очень опасно и сложно [8]. Следовательно, производительность композитного твердого топлива на основе ПА может быть улучшена путем добавления небольшого количества нанокатализатора к частицам ПА [9, 10]. Чтобы повысить эффективность катализаторов сгорания, исследователи разработали наноразмерные катализаторы, которые увеличивают поверхностно-активные области, соприкасающиеся с катализируемым веществом, что увеличивает каталитическую емкость [11].

Важно отметить, что сгорание композитного твердого топлива на основе ПА зависит от исходных условий топлива и условий окружающей среды, поэтому композитный состав сжигался при атмосферном давлении каждого типа. В этой статье представлен обзор экспериментальных и вычислительных методов, используемых для изучения каталитического воздействия катализатора  $Ti_3C_2$  (MXene) на горение гетерогенного твердого топлива на основе перхлората аммония (ПА). Исследование рассматривается в несколько этапов. Во-первых, для полного обеспечения характеристики сложного многофазного хода горения в композитной системе подробно дается каждый процесс. Далее предлагается экспериментальная диагностика, которая использовалась для изучения каждого из этих процессов. Затем предлагается краткое изложение анализа результатов горения твердого топлива на основе перхлората аммония. Наконец, делаются выводы по текущему пониманию.

## **Материалы и методы**

Чистота 98,8%, порошок  $NH_4ClO_4$  (перхлорат аммония) со средним размером частиц 50 мк, чистота 99,5%, алюминиевый порошок со средним размером частиц 44 мк и исходный порошок [ $Ti_3AlC_2$  (MAX)] для получения катализатора  $Ti_3C_2$  (MXene), плавиковая кислота (HF, 40%), полиуретан (ПУ) силлагерм, двухкомпонентная жидкость 6030. Была переработана в качестве связующего. В этих экспериментах использовалась деионизированная вода.

### *Приготовление композитного твердого топлива на основе ПА*

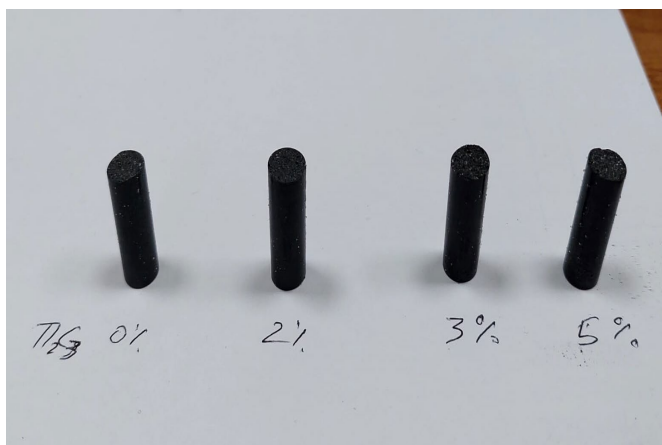
К настоящему времени было проделано много исследовательских работ по оптимизации сгорания твердого топлива на основе перхлората аммония. Однако, учитывая частичную или полную замену перхлората аммония в качестве основного окислителя топлива, когда говорят, что эпоха твердого топлива с перхлоратом аммония уходит в прошлое, критическое понимание новых систем, на наш взгляд, требует возвращения к этой проблеме. В композитных твердых топливах, используемых в современных твердотопливных ракетных двигателях, в качестве окислителей обычно используются ПА, связующее на полимерной основе и алюминиевый порошок [12]. Мы провели исследования, в том числе путем замены  $Ti_3C_2$  (MXene) вместо оксидов металлов (катализатора) в составе композитного твердого топлива, полученных на основе обзора литературы, в том числе экспериментальных и теоретических работ. Состав твердого топлива на основе  $NH_4ClO_4$  (ПА) представлен в таблице ниже.

**Таблица 1. Компоненты твердого ракетного топлива на основе перхлората аммония в процентах (%) от веса**

Образец, №	Состав, %			
	Ti <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	Al	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	ПУ
1	0	18	60	2.2
2	2	18	58	22
3	3	18	57	22
4	5	18	55	22

По массовым долям химических реагентов, указанным в таблице 1, подготовлены четыре типовых образца. При приготовлении образца нужной массы химическое соединение: Ti<sub>2</sub>C<sub>3</sub>, Al, и NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub> взвешивают массы по стехиометрических составов, изготавливают и перемешивают в агатовой ступке.

Далее поверх полностью перемешанных порошков наливают связующий полиуретан (ПУ) и перемешивают. Полностью увлажненная масса образца приводится в форму в цилиндрической форме (как показано на рисунке 1). Подготовленные образцы сушат в вакуумной среде в течение двух суток.

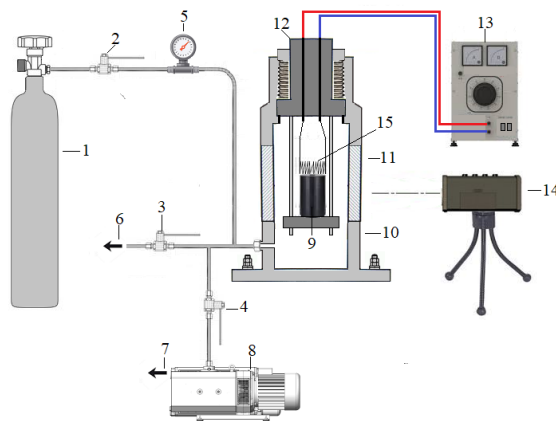
**Рисунок 1. Образцы твердого топлива, изготовленные в каждом процентном соотношении Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene)**

Остановимся на способе подготовки использованного для экспериментальной работы катализатора [Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene)]. Ранее мы писали, что порошок [Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> (MAX)] опосредуется химической реакцией с плавиковой кислотой (HF). Более подробную информацию об этом можно посмотреть в литературе [13].

*Сжигание твердого топлива на основе перхлората аммония в установке высокого давления*

Скорость горения твердого ракетного топлива будет зависеть от различных факторов. Повышение давления в камере сгорания является одним из наиболее важных факторов, повышающих скорость горения. По мере увеличения давления в камере сгорания профиль горящего пламени изменяется; количество пламени уменьшается и горит быстрее [14]. По компонентам твердого топлива ракеты, приведенным в таблице-1, подготовлены образцы, и с целью изучения действия горения в устройстве высокого давления проведена серия испытаний горения при камерных давлениях 1, 20, 40, 60 атм.





**Рисунок 2. Схема сжигания твердого топлива на основе перхлората аммония в установке высокого давления:**

1 - аргон, 2, 3, 4, - вентиль для газа, 5 - манометр, 6, 7 - выход газа, 8 - вакуумный насос, 9 - образец для сжигания, 10 - установка высокого давления, 11 - окно для контроля, 12 - открывающийся и закрывающийся колпак, 13 - трансформатор, 14 - пирометр, 15 - нагревательная спираль

Испытания сжигания твердого топлива проводились на лабораторной установке высокого давления, как показано на рисунке 2. Скорость горения твердого топлива можно принять за расстояние горения в единицу времени. Как правило, в качестве единицы скорости горения используются мм/с, см/с и дюйм/с [14]. Поэтому с целью расчета скорости горения измеряется, прежде всего, высота, диаметр образцов. Затем мы наносим на установку высокого давления при давлениях 1 атм, 20 атм и 40 атм. Весь ход горения фиксируется в видеокамере, а температура измеряется с помощью пирометра.

#### *Методы анализа образцов*

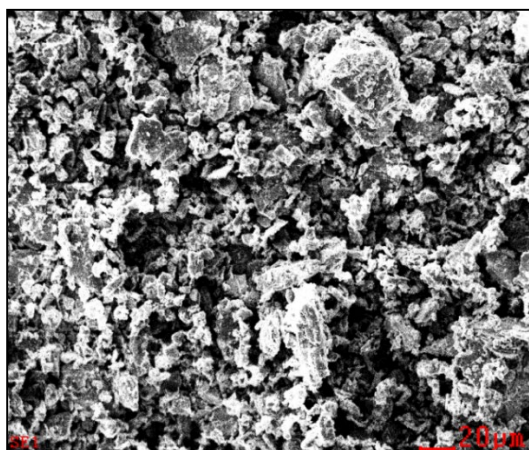
СЭМ анализ. Микроструктура образцов изучалась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в двойной системе Quanta 3D 200i с ускорительным напряжением 15 кВ.

#### **Результаты и обсуждение**

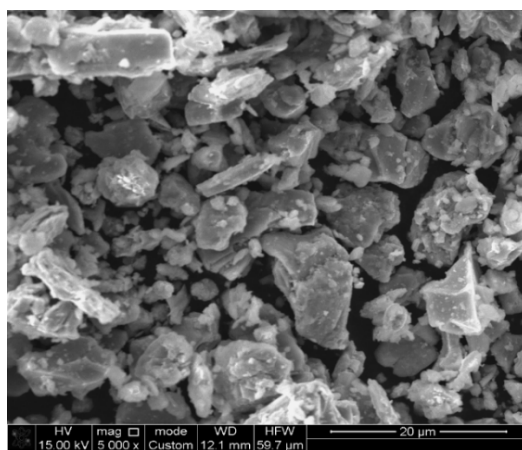
Морфология и элементный состав  $Ti_3AlC_2$  (MAX) и  $Ti_3C_2$  (MXene) были продемонстрированы с помощью детектора СЭМ, ЕДХ. Как показано на рисунках СЭМ (рис. 4а, б), мы видим, что структура  $Ti_3C_2$  (MXene) представляет собой слоистые структурные наночастицы. А если посмотреть на картины (рис. 3а, б) Макса ( $Ti_3AlC_2$  (MAX)), то такой принципиальной особенности не наблюдается. Показан элементный состав образцов по детектору ЕДХ. Элементный состав синтезированного катализатора ЕДХ-анализ (рис. По 4с, d) 12,27. 9,31. 20,72. 6,55. 51,15% указывает наличие С, О, F, Al, и Ti в дробях.

Двумерные (2D) материалы обладают уникальными химическими и физическими свойствами, в отличие от традиционных сыпучих материалов, благодаря своей уникальной плоской структуре [15]. По сравнению с другими катализаторами на основе металлов,  $Ti_3C_2$  и  $Ti_3N_2$  имеет сильную термическую стабильность, которая относится к каркасу  $M_{n+1}X_n$ , образованному слоями атома углерода (С) и атомными слоями переходного металла (Ti) [16]. MXenes играет ключевую роль во многих типичных тепловых реакциях в качестве катализатора [17]. Благодаря высокой

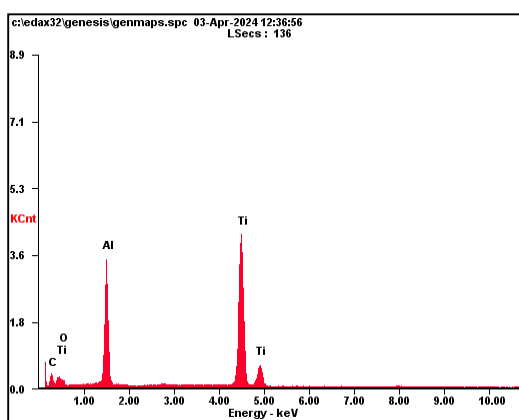
термостойкости и уникальной структуре он демонстрирует некоторые преимущества по сравнению с традиционными катализаторами.



a



b

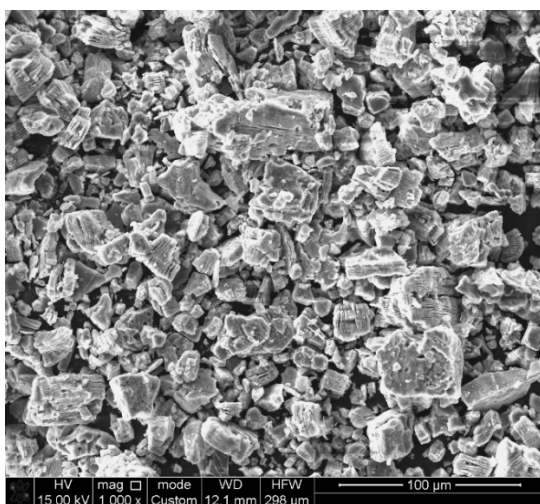


c

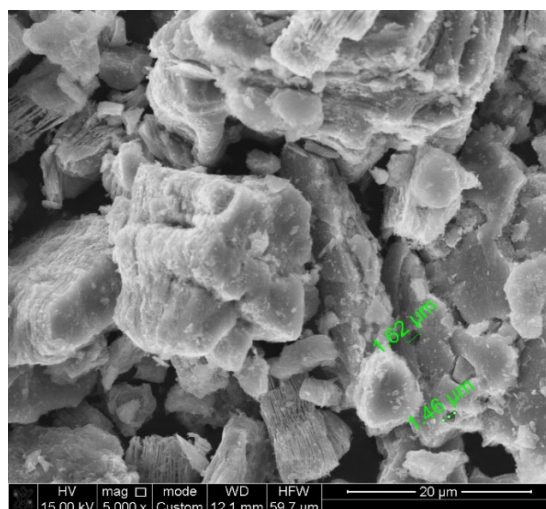
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	9.47	25.03
<i>OK</i>	3.79	7.51
<i>AlK</i>	19.45	22.87
<i>TiK</i>	67.29	44.59
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

d

Рисунок 3.  $Ti_3AlC_2$  (MAX) и СЭМ-микрофотографии: а - микроструктура поверхностного слоя; б - структура центральной части сечения образца; с - композита на основе  $Ti_3AlC_2$ ; д - спектры элементный расчет ЕДХ

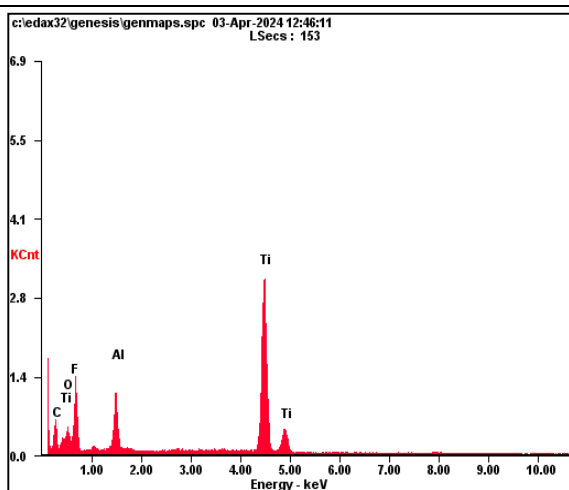


a



b





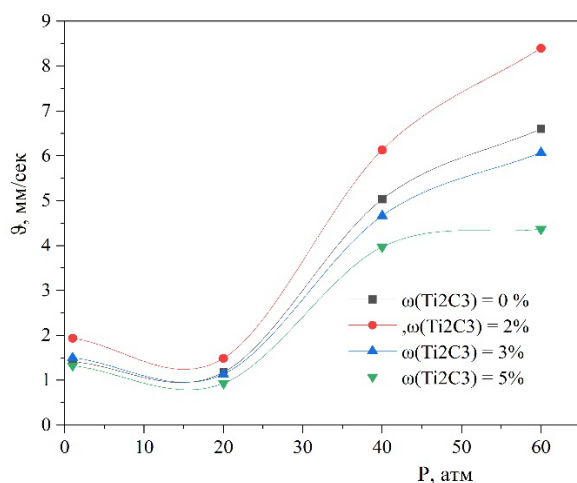
Element	Wt%	At%
CK	12.27	25.50
OK	9.31	14.54
FK	20.72	27.23
AlK	6.55	6.06
TiK	51.15	26.67
Matrix	Correction	ZAF

c

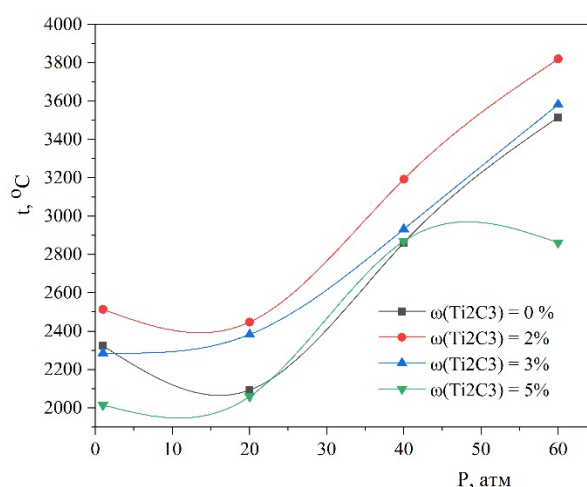
d

Рисунок 4.  $Ti_3AlC_2$  (MAX) и СЭМ-микрофотографии: а -микроструктура поверхностного слоя; б - структура центральной части сечения образца; с - композита на основе  $Ti_3AlC_2$ ; d - спектры элементный расчет ЕДХ

Скорость горения твердого ракетного топлива варьируется в зависимости от различных факторов. Были проведены работы по изучению влияния катализатора на горение в образце без добавления катализатора к топливу, обладающему одинаковыми свойствами, и с добавлением катализатора  $Ti_3C_2$  (MXene) с массовым содержанием 2, 3, 5%. Когда образцы горели в диапазоне давления в камере сгорания от 1 до 60 атм, было обнаружено, что образец с массовой долей  $Ti_3C_2$  (MXene) 2% хорошо горит. Особенно среди диапазонов 40-60 было обнаружено, что все виды топлива имеют высокую скорость горения, хотя наблюдалось интенсивное увеличение скорости горения образцов с 2% катализатором. На рисунке 6а показано влияние давления и количества катализатора на скорость горения. Хотя увеличение количества катализатора Максина положительно не влияет на скорость горения, расширение поверхности горения за счет увеличения давления может увеличить скорость горения. Принимая во внимание результаты, можно сказать, что процент катализатора, который был наиболее эффективным, составляет 2%. Как показано на рисунке 5а, было обнаружено, что при увеличении давления скорость горения увеличивается из-за увеличения поверхности горения.



a



b

Рисунок 5. Влияние давления на скорость горения и тепловыделение

Повышенный уровень энергии твердого ракетного топлива увеличивает давление и температуру в камере сгорания ракетного двигателя. За счет повышения давления и температуры твердого топлива увеличивается скорость его сгорания и улучшаются условия работы ракетного двигателя. Как показано на рисунке 5б, повышение уровня энергии твердого топлива неуклонно увеличивалось между диапазонами давления 40-60. Исследование показало, что из образцов, полученных путем добавления различных процентных количеств катализатора ( 0-5%  $Ti_3C_2$  (MXene)) в состав композитного твердого топлива ракеты, температура сгорания катализатора, составляющего 2%, повышается с 2514 °С до 3820 °С. Таким образом, наша работа измеряет не только скорость сгорания, но и энергию сгорания твердого топлива.

### **Заключение**

Совершенствование твердотопливного ракетного топлива и оптимизация процесса горения, несомненно, увеличат переносную мощность наряду со скоростью ракетных двигателей. Есть много факторов, которые влияют на скорость сгорания твердого топлива, одним из которых является катализатор, поэтому катализатор является удобным подходом с большим потенциалом в совершенствовании ракетного двигателя. Подводя итоги этой работы, мы продолжим процесс замены традиционного катализатора из оксидов переходных металлов на наноразмерные катализаторы, которые мы использовали до сих пор, и остановимся на каталитическом значении наноразмерных частиц максина. Результаты эксперимента показали, что добавление  $Ti_3C_2$  (MXene) к твердому топливу ракеты приводит к значительному увеличению скорости горения и более высокому удельному импульсу. Это связано с тем, что  $Ti_3C_2$  (MXene) снижает температуру термического разложения перхлората аммония, предотвращая максимальное тепловыделение. Эти явления, наряду с увеличением скорости горения, увеличивают мощность ракетного двигателя. При усовершенствовании ракетных двигателей  $Ti_3C_2$  (MXene) демонстрируют многообещающие свойства в качестве катализатора.

### **Благодарности:**

**Алипбаев Аманбол Наматжанович** - обработал материал научной статьи в различных базах данных и информационных системах, выявил аналитическую и статистическую отчетность, которая повлияла на них в координатах химических показателей, средах разной концентрации. В том числе участник научного проекта «Разработка технологии получения нитридсодержащих СВС-композитов в установке высокого давления» и «СВ-синтез диборида магния в реакторе высокого давления и электрофизические свойства композитов на его основе».

**Мансуров Зулхаир Аймухаметович** – профессор, методы исследования и результаты научных работ предварительно были доложены и обсуждены на международных конференциях и только затем опубликованы в печати. Для обучения молодежи им организовано проведение в Казахстане конференций по нанотехнологиям.

**Финансирование:** отсутствует.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** концептуализация, анализ и написание теста – Мансуров З. А., сбор данных – Коркембай Ж.; коррективная и утверждение окончательного варианта статьи для публикации – Алипбаев А.Н. Все авторы рассмотрели и согласились с опубликованной версией рукописи.

## Список литературы

1. Dennis C., Bojko B. On the combustion of heterogeneous AP/HTPB composite propellants: A review // *Fuel*. - 2019. - Vol. 254. - P. 115646. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115646>.
2. Usman M., Wang L., Yu H., Haq F., Haroon M., Summe Ullah R., Khan A., Fahad S., Nazir A., Elshaarani T. Recent progress on ferrocene-based burning rate catalysts for propellant applications // *Journal of Organometallic Chemistry*. - 2018. - Vol. 872. - P. 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2018.07.015>.
3. Beckstead M.W., Puduppakkam K., Thakre P., Yang V. Modeling of combustion and ignition of solid-propellant ingredients // *Progress in Energy and Combustion Science*. - 2007. - Vol. 33, № 6. - P. 497–551. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.02.003>.
4. Zhang D., Cao C.-Y., Lu S., Cheng Y., Zhang H.-P. Experimental insight into catalytic mechanism of transition metal oxide nanoparticles on combustion of 5-Amino-1H-Tetrazole energetic propellant by multi kinetics methods and TG-FTIR-MS analysis // *Fuel*. - 2019. - Vol. 245. - P. 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.007>.
5. Sippel T.R., Son S.F., Groven L.J. Aluminum agglomeration reduction in a composite propellant using tailored Al/PTFE particles // *Combustion and Flame*. - 2014. - Vol. 161, № 1. - P. 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2013.08.009>.
6. Carnes C.L., Klabunde K.J. The catalytic methanol synthesis over nanoparticle metal oxide catalysts // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. - 2003. - Vol. 194, № 1–2. - P. 227–236. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(02\)00525-3](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(02)00525-3).
7. Eslami A., Hosseini S.G., Bazrgary M. Improvement of thermal decomposition properties of ammonium perchlorate particles using some polymer coating agents // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. - 2013. - Vol. 113, № 2. - P. 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2784-6>.
8. Chen L., Li L., Li G. Synthesis of CuO nanorods and their catalytic activity in the thermal decomposition of ammonium perchlorate // *Journal of Alloys and Compounds*. - 2008. - Vol. 464, № 1–2. - P. 532–536. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.10.058>.
9. Yu Z., Chen L., Lu L., Yang X., Wang X. DSC/TG-MS Study on in Situ Catalytic Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate over  $Co_2O_4$  // *Chinese Journal of Catalysis*. - 2009. - Vol. 30, № 1. - P. 19–23. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(08\)60087-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(08)60087-X).
10. Ayoman E., Hosseini S.G. Synthesis of CuO nanopowders by high-energy ball-milling method and investigation of their catalytic activity on thermal decomposition of ammonium perchlorate particles // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. - 2016. - Vol. 123, № 2. - P. 1213–1224. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5059-1>.
11. Zhang D., Lu S., Gong L.-L., Cao C.-Y., Zhang H.-P. Effects of calcium carbonate on thermal characteristics, reaction kinetics and combustion behaviors of 5AT/Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> propellant // *Energy Conversion and Management*. - 2016. - Vol. 109. - P. 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.051>.
12. Sutton G.P., Biblarz O. Rocket propulsion elements. - 7th ed. John Wiley & Sons; 612 2001. - p. 419–434.
13. Korkembay Zh., Toshtay K., Atamanov M., Malchik F., Amrousse R., Merkiabayev Y., Imash A., Mansurov Z. Determination of the Catalytic Activity of the MXene in the Combustion of Ammonium Perchlorate // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. - 2024. - Vol. 97, № 4. - P. 985–992. <https://doi.org/10.1007/s10891-024-02968-1>.
14. Yaman H., Çelik V., Değirmenci E. Experimental investigation of the factors affecting the burning rate of solid rocket propellants // *Fuel*. - 2014. - Vol. 115. - P. 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.033>.
15. Chen Y., Fan Z., Zhang Z., Niu W., Li C., Yang N., Chen B., Zhang H. Two-Dimensional Metal Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications // *Chemical Reviews*. - 2018. - Vol. 118, № 13. - P. 6409–6455. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00727>.

16. Dillon A.D., Ghidui M.J., Krick A.L., Griggs J., May S.J., Gogotsi Y., Barsoum M.W., Fafarman A.T. Highly Conductive Optical Quality Solution-Processed Films of 2D Titanium Carbide // *Advanced Functional Materials*. - 2016. - Vol. 26, № 23. - P. 4162–4168. <https://doi.org/10.1002/adfm.201600357>.

17. Chirica I.M., Mirea A.G., Neațu Ș., Florea M., Barsoum M.W., Neațu F. Applications of MAX phases and MXenes as catalysts // *Journal of Materials Chemistry A*. - 2021. - Vol. 9, № 35. - P. 19589–19612. <https://doi.org/10.1039/D1TA04097A>.

**Ж. Көркембай<sup>1\*</sup>, А.Н. Алипбаев<sup>2</sup>, З.А. Мансуров<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>1</sup>С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы, Қазақстан

### **Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) катализатор қатысында аммоний перхлораты негізіндегі қатты отынның жану үрдіс**

**Аңдатпа.** Қатты отындырдың ғарыштық тасымал саладағы қажеттілігін ескерсек, оларды дамыту, жетілдіре түсу аса маңызға ие екенін түсінеміз. Қолданыстағы қатты отындарға пайдаланылатын катализаторлардың каталитикалық белсенділігін жақсарту арқылы жағымсыз жану өнімділігінен болатын зардаптарды азайтуға болады. Ерекше құрлымға ие, екі өлшемді өтпелі металл карбидтерінің Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) каталитикалық қасиеттері үлкен қызығушылықтар тудыруда. Бұл жұмыста біз максиннің Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>(MXene) аммоний перхлораты негізіндегі композициялық қатты отынның жануына каталитикалық әсерін қарастырдық. Үлгілер жоғары қысымды құрылғыда, әр түрлі аргон қысымында жандырылды. Жану барысы жоғары жылдамдықты бейнекамераға түсірілді және температурасы пирометрдің көмегімен өлшенді. Анықталған параметрлер бойынша құрылған графикті талдағанда, максин Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) қосылған аммоний перхлораты негізіндегі қатты отын жанғанда масса мен жылу алмасудың жақсарғаны байқалады.

**Түйін сөздер:** Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) нано ұнтақтары, аммоний перхлораты (ПА), каталитикалық белсенділік, кинетикалық параметрлер, қатты отын

**Zh. Korkembay<sup>1\*</sup>, A.N. Alipbayev<sup>2</sup>, Z.A. Mansurov<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

<sup>1</sup>Kazakh National Medical University named after S. D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan

### **Combustion process in the presence of Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) solid fuel catalyst based on ammonium perchlorate**

**Annotation.** Given the need for space materials in solid fuels, their development, the improvement of fuel materials is of great importance. By improving the catalytic activity of the catalysts used in existing solid fuels, it is possible to reduce the effects caused by adverse combustion characteristics. Gorenje The catalytic properties of Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) two-dimensional transition metal carbides with a special structure are of great interest. In this paper, we examined the catalytic effect of maxene Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) on the combustion of a composite solid fuel based on ammonium perchlorate. The samples were ignited in a high-pressure device, at various argon pressures. was filmed on a high-speed video camera, and the temperature was measured using a pyrometer. When analyzing the graph based on the obtained parameter values, an improvement in mass and heat transfer is observed during the combustion of solid fuels based on ammonium perchlorate with the addition of the Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene).

**Keywords:** Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (MXene) Ammonium perchlorate (AP) nanopowders. Catalytic activity. Kinetic parameters. Solid fuel.

## References

1. Dennis C., Bojko B. On the combustion of heterogeneous AP/HTPB composite propellants: A review // *Fuel*. - 2019. - Vol. 254. - P. 115646. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115646>.
2. Usman M., Wang L., Yu H., Haq F., Haroon M., Summe Ullah R., Khan A., Fahad S., Nazir A., Elshaarani T. Recent progress on ferrocene-based burning rate catalysts for propellant applications // *Journal of Organometallic Chemistry*. - 2018. - Vol. 872. - P. 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2018.07.015>.
3. Beckstead M.W., Puduppakkam K., Thakre P., Yang V. Modeling of combustion and ignition of solid-propellant ingredients // *Progress in Energy and Combustion Science*. - 2007. - Vol. 33, № 6. - P. 497–551. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.02.003>.
4. Zhang D., Cao C.-Y., Lu S., Cheng Y., Zhang H.-P. Experimental insight into catalytic mechanism of transition metal oxide nanoparticles on combustion of 5-Amino-1H-Tetrazole energetic propellant by multi kinetics methods and TG-FTIR-MS analysis // *Fuel*. - 2019. - Vol. 245. - P. 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.007>.
5. Sippel T.R., Son S.F., Groven L.J. Aluminum agglomeration reduction in a composite propellant using tailored Al/PTFE particles // *Combustion and Flame*. - 2014. - Vol. 161, № 1. - P. 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2013.08.009>.
6. Carnes C.L., Klabunde K.J. The catalytic methanol synthesis over nanoparticle metal oxide catalysts // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. - 2003. - Vol. 194, № 1–2. - P. 227–236. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(02\)00525-3](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(02)00525-3).
7. Eslami A., Hosseini S.G., Bazrgary M. Improvement of thermal decomposition properties of ammonium perchlorate particles using some polymer coating agents // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. - 2013. - Vol. 113, № 2. - P. 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2784-6>.
8. Chen L., Li L., Li G. Synthesis of CuO nanorods and their catalytic activity in the thermal decomposition of ammonium perchlorate // *Journal of Alloys and Compounds*. - 2008. - Vol. 464, № 1–2. - P. 532–536. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.10.058>.
9. Yu Z., Chen L., Lu L., Yang X., Wang X. DSC/TG-MS Study on in Situ Catalytic Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate over  $Co_2O_4$  // *Chinese Journal of Catalysis*. - 2009. - Vol. 30, № 1. - P. 19–23. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(08\)60087-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(08)60087-X).
10. Ayoman E., Hosseini S.G. Synthesis of CuO nanopowders by high-energy ball-milling method and investigation of their catalytic activity on thermal decomposition of ammonium perchlorate particles // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. - 2016. - Vol. 123, № 2. - P. 1213–1224. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5059-1>.
11. Zhang D., Lu S., Gong L.-L., Cao C.-Y., Zhang H.-P. Effects of calcium carbonate on thermal characteristics, reaction kinetics and combustion behaviors of 5AT/Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> propellant // *Energy Conversion and Management*. - 2016. - Vol. 109. - P. 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.051>.
12. Sutton GP, Biblarz O. Rocket propulsion elements. - 7th ed. John Wiley & Sons; 612 2001. - p. 419–434.
13. Korkembay Zh., Toshtay K., Atamanov M., Malchik F., Amrousse R., Merkiabayev Y., Imash A., Mansurov Z. Determination of the Catalytic Activity of the MXene in the Combustion of Ammonium Perchlorate // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. - 2024. - Vol. 97, № 4. - P. 985–992. <https://doi.org/10.1007/s10891-024-02968-1>.
14. Yaman H., Çelik V., Değirmenci E. Experimental investigation of the factors affecting the burning rate of solid rocket propellants // *Fuel*. - 2014. - Vol. 115. - P. 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.033>.
15. Chen Y., Fan Z., Zhang Z., Niu W., Li C., Yang N., Chen B., Zhang H. Two-Dimensional Metal Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications // *Chemical Reviews*. - 2018. - Vol. 118, № 13. - P. 6409–6455. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00727>.

16. Dillon A.D., Ghidui M.J., Krick A.L., Griggs J., May S.J., Gogotsi Y., Barsoum M.W., Fafarman A.T. Highly Conductive Optical Quality Solution-Processed Films of 2D Titanium Carbide // *Advanced Functional Materials*. - 2016. - Vol. 26, № 23. - P. 4162–4168. <https://doi.org/10.1002/adfm.201600357>.

17. Chirica I.M., Mirea A.G., Neațu Ș., Florea M., Barsoum M.W., Neațu F. Applications of MAX phases and MXenes as catalysts // *Journal of Materials Chemistry A*. - 2021. - Vol. 9, № 35. - P. 19589–19612. <https://doi.org/10.1039/D1TA04097A>.

### Сведения об авторах

**Коркембай Жанибек** - автор для корреспонденции, докторант кафедры химической технологии и материаловедения, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, преподаватель кафедры химии, Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, ул. Толе би, 94, 050012, Алматы, Казахстан.

ORCID : [https:// orcid.org/ 0000-0002-2954-3995](https://orcid.org/0000-0002-2954-3995)

**Алипбаев Аманбол Наматжанович** - доктор PhD, старший преподаватель кафедры химии, химической технологии и экологии, Алматинский технологический университет, ул. Толе би, 100, 050012, Алматы, Казахстан.

ORCID ID: 0000-0001-5301-4156

**Мансуров Зулхаир Аймухаметович** - доктор физических и химических наук, профессор кафедры химической технологии и материаловедения, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID: [https:// orcid.org / 0000-0002-8956-216X](https://orcid.org/0000-0002-8956-216X)

**Korkembay Zhanibek** – correspondence author, doctoral student of the Department of Chemical Technology and Materials Science, Al-Farabi Kazakh National University, lecturer at the Department of Chemistry S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, 94 Tole bi street, 050012, Almaty, Kazakhstan.

ORCID : [https:// orcid.org / 0000-0002-2954-3995](https://orcid.org/0000-0002-2954-3995)

**Alipbayev Amanbol Namatzhanovich** - senior Lecturer at the Department of Chemistry, Chemical Technology and Ecology, PhD, Almaty Technological University, 100 Tole bi street, 050012, Almaty, Kazakhstan.

ORCID ID: 0000-0001-5301-4156

**Mansurov, Zulkhair Aimukhametovich** - Professor of the Department of Chemical Technology and Materials Science of Al-Farabi Kazakh National University, Doctor of Physical and Chemical Sciences, 71 Al-Farabi Ave., 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID: [https:// orcid.org / 0000-0002-8956-216X](https://orcid.org/0000-0002-8956-216X)



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).





IRSTI 39.19.31, 39.03.19, 36.33.27, 39.29.15 DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-79-94>

Scientific article

## The landscapes of the Aral physical-geographical region and their zoning experiments

R.A. Ibragimova<sup>1</sup> , M.M. Avezov<sup>2\*</sup> , A.A. Ibraimova<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
Tashkent, Uzbekistan

(E-mail: <sup>1</sup>r.ibragimova@nuu.uz, <sup>2</sup>m.avezov@nuu.uz, <sup>3</sup>azizaibraimova983@gmail.com)

**Abstract.** In this article, new lands formed in the drainage zone of the Aral Sea and areas where marine deposits are widespread in the Eastern Aral Sea area were identified as a separate physical-geographical unit – the Aral physical-geographical region. The article also describes the landscapes and physical-geographical districts of the Aral physical-geographical region. It has been studied that the units of physical-geographical zoning are classified differently by different researchers, and the units of zoning of the Aral physical-geographical region have been described. A map of the landscapes and physical-geographical zoning of the Aral physical-geographical region with a medium scale (1: 500.000) has been compiled.

**Keywords:** landscape, Aral Sea, desertification, physical-geographical zoning, physical-geographical district, physical-geographical region, Aral region, relief, soil, vegetation, landscape map, landscape type, physical-geographical zoning map.

Received: 25.11.2024. Accepted: 19.12.2024. Available online: 31.12.2024.

\* Corresponding author

### Introduction

An analysis of the works on the physical-geographical zoning of the Aral Sea and the Aral Sea region, which are part of regional studies, showed that the lands released from the water of the Aral Sea due to the decline in the level of the Aral Sea are not zoned physical-geographically. Based on the study and analysis of the physical-geographical conditions of this region, it became known that new unique landscapes began to emerge. These landscapes differ from the landscapes of other regions in their formation and development directions. Therefore, the landscapes of the newly discovered territories' landscapes have been studied scientifically and practically. It was found that they do not resemble the landscape characteristics of neighboring physical-geographical districts, and they were named separate **Aral physical-geographical region**. The historical and genetic factor was taken as

the basis for identifying such a physical-geographical unit, and the territories where marine deposits are common were chosen as the boundaries of the region.

In this article, we would like to focus on the landscape map at a scale of 1:500,000 created based on our regional physico-geographical studies of a new territory formed on the Aral Sea and the results of physical-geographical zoning based on it. First of all, we wanted to draw attention to two important points. These are:

1) It is advisable to consider the territory of the Aral Sea coastline, formed before the 1960s, as a unified natural geographical unit based on its orographic structure, genetic origin, and lithological features, and to identify it as a new Aral natural geographical district, alongside natural geographical districts such as Ustyurt, Lower Amu Darya, and Kyzylkum, on the maps of natural geographical zoning of Central Asia;

2) Given that the landscapes that make up the structure of the Aral Sea physico-geographical region are still quite “brittle” in terms of age and relatively “fragile” in terms of stability, great caution is necessary when developing measures for their use in the national economy.

### **Materials and methods**

Since the emergence of the Aral Sea and the Aral Sea region, this area has become an object of research in various directions. A number of scientific works have been carried out aimed at illuminating the natural features of this region. In particular, the geology of the dried-up bottom of the Aral Sea was studied by B.I. Pinhasov (2002, 2006, 2009), the issues of soil formation were studied by T.F. Nekrasova (1990), B. Zhollibekov (1991, 1995, 2002), T.M. Tairov (1993), V.M. Starodubtsev, V.K. Bogdanets (2007), the study of the state of vegetation cover was studied by V.V. Zherbaev (1990), V.V. Zherbaev (19 (2001, 2002, 2006), Kh. Shomurodov and others. (2008), T.T. Rakhimova et al. (2008), S.G. Sherimbetov (2009).

Issues of the formation of natural geographical complexes on the dried-up bottom of the Aral Sea are reflected in the scientific works of N.F. Mojaytseva (1979), M.Sh. Ishankulov (1980), A. Rafikov (1982), G.V. Geldieva, T.I. Budnikova (1987, 1990, 1996), V.A. Popov (1990, 2001), A.K. Kurbaniyazov (2001, 2006, 2008) and P.R.Reimov (2001, 2008, 2009).

The territory of the Aral physical-geographical region is entirely within the desert zone. Here, new landscapes with unique characteristics are emerging, considered the youngest among the landscapes of Central Asia. Their formation, structure, and changes in appearance continue to this day. The difference between these landscapes and the landscapes of neighboring counties lies in the fact that marine morphosculptures have formed and are developing in the region. The current relief can be divided into the Holocene Sea and the primary seafloor plains, which were freed from seawater after 1960. Therefore, the landscapes of the Aral physical-geographical region are divided into ancient and modern marine plains. Modern seafaring plains differ from each other in age, surface area, and greater or lesser fragmentation.



**Figure 1. Space image of the Aral Sea region** (Source: <https://earth.google.com/web>)

Landscape formation is observed depending on the elevation of the site, initially on relatively high and water-depleted lands. Accordingly, it can be observed that landscapes typically have a longitudinal ribbon shape and are located parallel to the coastline. Over the past 50 years, there has been a gradual formation of landscapes in the Aral physical-geographical region. In this sense, the formation of the territory's landscapes can be divided into 3 stages: 1) the initial stage of formation (1-5 years after drying); 2) Stage in progress (6-20 years); 3) The relatively established stage of landscapes (21-50 years).

Landscapes in the initial stage of formation are very young landscapes located along the dried-up sea, whose structure has not yet formed. In areas 2-4 km wide from the new coastline, in 1-2 years, marsh salt marshes are formed, groundwater lies at a depth of 30-70 cm, and the soil profile is moist at all depths. After 3-5 years, the transformation of marsh salt marshes into coastal salt marshes is observed [13, 14]. On lands that have been free of sea water for 8-10 years, coastal sandy solonchaks are formed and desalinated to a depth of about 1 m, and it has been established that these landscapes are covered with vegetation in a sparse form up to 10-20%.

Relatively formed landscapes are landscapes with a width close to the bottom shore (eastern shores, Amu Darya and Syr Darya deltas) and a distance of 50-70 km, which develop with the main landscape-forming factors and features characteristic of the sandy deserts of Central Asia. Despite this, these landscapes differ from desert sandy landscapes and are distinguished by their uniqueness, and the landscapes formed in this area can be compared to the landscapes formed as a result of the retreat of the Paleogene Sea in the Kyzylkum and Karakum. One of the pressing issues today is mapping them and developing ways to use them in the economy.

## **Results and discussion**

When studying and mapping landscapes, it is advisable to use a thorough and accurate classification table. Until now, scientists engaged in the theory of natural geography have always been interested in the classification of landscapes. Many geographers were engaged

in classifying landscapes, of whom the experience of N.A. Gvozdetsky [6], A.G. Isachenko [7], and V.A. Nikolaev [9] is particularly noteworthy. Among these scientists, N.A. Gvozdetsky and A.G. Isachenko simultaneously conducted work on the classification of landscapes. Their classification units differ from each other. If N.A. Gvozdetsky's classification scheme is in the form of "class – type – smaller type – group – child" then A.G. Isachenko prefers to identify the type first and then divide it into classes. The description of its landscapes was in the form of a "type – subtype – class – subclass – type – subtype – variant". In the classifications performed after N.A. Gvozdetsky and A.G. Isachenko, it can be seen that the works of these scientists were used and similarity or very minor changes were made.

It is well known that the classification of landscapes, which has been developed more thoroughly at present and is widely used in subsequent studies, belongs to V.A. Nikolaev. Its classification scheme is distinguished by its multi-level nature and has the following form: "section – part – small part – class – small class – group – type – small type – category – subcategory – variety – variant". Most of the landscape studies conducted in Uzbekistan (N.A. Kogai, Sh.S. Zakirov, A.A. Rafikov, I.A. Khasanov, A. Zaynutdinov, A.K. Kurbaniyazov, etc.) It was based on the classification recommended by V.A. Nikolaev and yielded good results in the study of landscapes. Because these scientific works are distinguished by the fact that they were carried out on the basis of data on the steppe zone of Asia, its characteristics for arid regions and the fact that small units in the recommended classification are developed fairly perfectly.

Taking this into account, we decided to use the classification unit recommended by the renowned landscape scientist V.A. Nikolaev [9]. This is because it can be seen that this unit of classification has been used in many landscape studies and that the work done has been successful. In particular, A. Rafikov studied the landscapes of the Southern Aral Sea region, I. Khasanov – the Karshi steppe, Sh. Zakirov – the Amu Darya and Syr Darya interfluvium, and A. Zaynutdinov – the Chirchik-Akhangaran Valley. However, we have used this classification unit with a minor change. We found it necessary to separate the *group of landscapes* from the *type of landscapes and the subtype*. In this case, the Aral Sea region is entirely within the subtype of landscape of northern deserts. The next classification unit, called the group, is divided into landscape categories, which in turn are divided into landscape types.

When creating a landscape map, the researcher also encounters the method of depicting landscapes in colors. This method is one of the most understudied issues in landscape science. So far, we know that there are only two scientific articles on this issue. These are articles by N.G. Bokachev [4] entitled "Principles of Flower Formation of Medium-Scale Landscape Maps" and Ch.V. Galkov [5] entitled "On the Use of Background Signs in Landscape Maps". Moreover, the colors chosen by N.G. Bokachev and the principle applied by him largely correspond to the classification compiled by F.N. Milkov, and the types of terrain are mainly given by dashed lines, which cannot reveal the main features of the landscapes of our region.

It is difficult to achieve the expected result when using the principle used in Ch.V. Galkov's article, that is, the principle of selecting both colors and signs. Because adding some symbolic symbols to the colors and bars makes it difficult to read the map.

When creating a landscape map of the Aral physical-geographical region, we deemed it necessary to choose a color for landscape types to facilitate its reading. We considered it more important to distinguish landscape groups using dashed lines over colors. Taking into account that landscape groups are automorphic, hydromorphic, and semi-hydromorphic landscapes depending on their moisture content, we decided that a good result can be achieved mainly with the same stroke, but by showing the direction of the lines in three different cases. As a result, all groups of automorphic landscapes are represented by vertical

lines, hydromorphic landscapes by horizontal dashed lines, and semi-hydromorphic landscapes by inclined dashed lines. The dashed lines given in this view can also provide information about the presence of groundwater at depth or on the surface, and the readability of the map is also relatively high.

In addition to the aforementioned methods, factual materials are also important when creating landscape maps. Because without them, it is impossible to create a perfect landscape map. Taking this into account, many scientific and practical materials were collected. In particular, the space images were analyzed year after year. Field research materials and scientific works published in subsequent years were studied. Based on the above, landscapes within the district were identified and mapped based on when the area was released from water masses, plant and soil cover, and geomorphology.

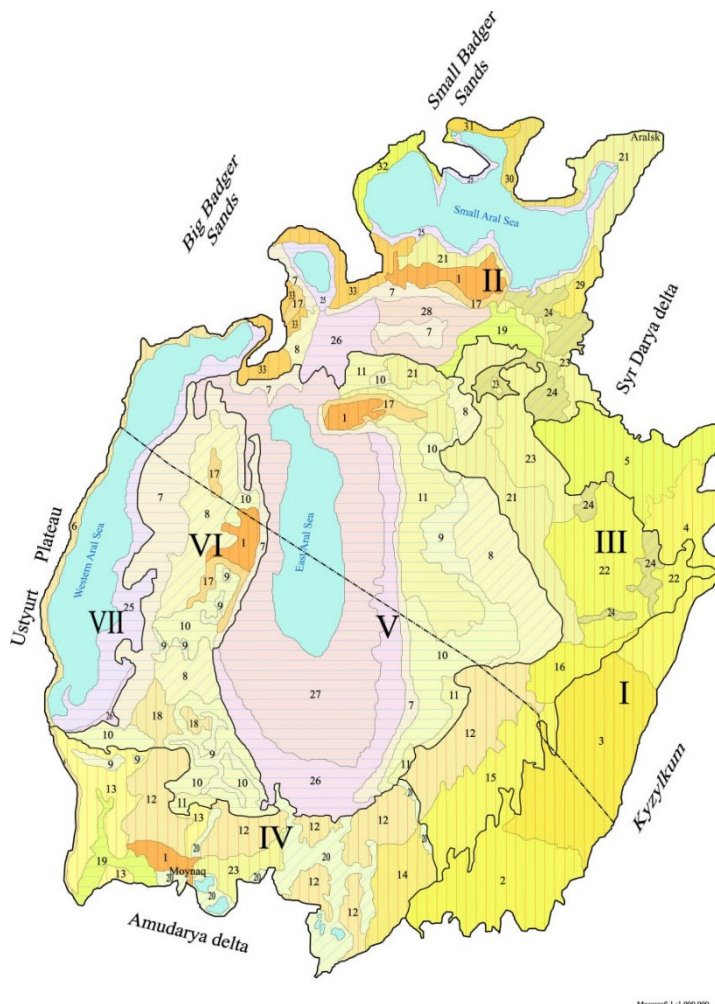
To facilitate the readability of the landscape map of the Aral Sea region, we deemed it necessary to select colors for landscape types. We considered it more important to distinguish landscape groups using dashed lines above the colors. Taking into account that landscape groups are automorphic, hydromorphic, and semi-hydromorphic landscapes, depending on their moisture content characteristics, we decided that a good result can be achieved mainly with the same stroke, but by showing the direction of the lines in three different ways. As a result, all groups of automorphic landscapes are reflected by vertical lines, while hydromorphic landscapes are reflected by horizontal dashed lines, and semi-hydromorphic landscapes are reflected by sloping dashed lines. The dashed lines given in this view can also provide information about the depth or surface of groundwater, and the readability of the map also increases relatively.

In addition to the aforementioned methodological methods, factual materials are also of great importance in creating landscape maps. Because it is impossible to create a landscape map without them. Taking this into account, many scientific and practical materials were collected. In particular, the space images were analyzed year after year. Field research materials and scientific works published in recent years were considered. Using the above, landscapes within the region were identified and mapped based on the area's water availability, vegetation and soil cover, and geomorphology.

At the initial stage of landscape identification and separation, over 400 contours were identified. As a result of re-analysis and generalization, similar contours of landscape features were added to each other. As a result, more than 100 contours were formed and they were combined into 33 landscape types (Figures 2 and 2a). These landscape types were numbered in arabic numerals. The identified landscapes are typological units. In addition to landscape types, landscape categories, groups, subspecies, types, and classes are distinguished on the landscape map, which is well reflected in its legend. Therefore, it has been established that all existing landscapes belong to the same class (*plains*), one species (*deserts*), and one subspecies (*northern deserts*). The landscapes of the district are also divided into automorphic, semi-hydromorphic, and hydromorphic groups. Automorphic landscapes have lost contact with the influence of groundwater, and their formation and development largely depend on atmospheric precipitation. Landscapes in the semi-hydromorphic group depend on atmospheric precipitation and at certain times on groundwater. In areas where groundwater and atmospheric precipitation occur year-round, landscapes are formed under hydromorphic conditions. From this perspective, 57.5% of the territory's landscapes (by number) are automorphic, 12% are semi-hydromorphic, and the remaining 30.5% are hydromorphic. Identifying landscape groups has both scientific and practical significance. For example, recognizing the possibility of landscapes transitioning from one group to another or a third group during their development, and studying this

process allows one to determine the directions of landscape development and thereby predict their future state.

The next unit in the classification is the category of landscapes, the main criterion for their identification is the lithological composition and geological history of geological deposits. For example, ancient marine plain landscapes (landscapes No. 1, 2, 3, 4, 5, 6) include landscapes formed on Holocene deposits. In doing so, an attempt was made to rely on the data found in existing paleogeographic works [10, 18, 12].



**Figure 2. Map landscape and physical-geographical zoning of the Aral physical-geographical region (compiled by the author's in Uzbek)**

**PLAINS**

**Desert landscapes**

**Northern desert landscapes**

**Seaplanes**

**I. Ancient Seaplanes**

1. Structural-denudation plains with sandy desert soils of kandym (*Calligonum aralense*) and black saxaul (*Haloxylon aphyllum*)

2. Sandy-steppe and sandy slopes with cherkez (*Saisola richteri*), kandym (*Calligonum aralense*), black saxaul (*Haloxylon aphyllum*)

3. The slopes with sandy desert soils, where kandym (*Calligonum aralense*), cherkez (*Saisola richteri*), white saxaul (*Haloxylon persicum*) and black saxaul (*Haloxylon aphyllum*)



grow, and the lowlands with black saxaul (*Halostachys belangeriana*) around the residual solonchaks

4. Wave-shaped plains with sandy and sandy desert soils, where cherkez (*Saisola richteri*), boyalich (*Salsola arbuscula* Pall), black saxaul (*Haloxylon aphyllum*), and common saltwort (*Halocnemum strobilaceum* (Pall)) grow

5. Accumulative plains with sandy desert soils with the growth of kandym (*Calligonum aralense*), cherkez (*Saisola richteri*), black saxaul (*Haloxylon aphyllum*)

6. Gravel-gray-brown-soil and fine-stone slopes (chink landscapes) with wormwood (*Artemisia diffusa*), buyrgan (*Anabasis salsa*)

## II. Modern Plains

7. Seaside solonchaks and marshes with sparse solonchaks (*Atriplex fominii*, *Salsola foliosia*, *Climacoptera aralensis*)

8. Inclined plains with coniferous salt marshes, where halophytes grow, and takyr-like soils, where alfalfa (*Calligonum aralense*) and sarsazan (*Halocnemum strobilaceum* (Pall)) grow

9. Humid lowlands with simple salt marshes without vegetation cover

10. Sea salt marshes with salt marshes, where there are red salt marshes (*Salicornia europaea*) and black salt marshes (*Salicornia herbacea* L), sarsazan (*Halocnemum strobilaceum* (Pall))

11. Moist salt marshes without vegetation

12. Sandy slopes with sparse black saxaul (*Haloxylon aphyllum*) and willow (*Tamarix hispida*)

13. Wavy surface sandy plains with sparse black saxaul (*Haloxylon aphyllum*), alfalfa (*Calligonum aralense*), wormwood (*Tamarix hispida*) and salt marshes with salt marshes (*Atriplex fominii*, *Climacoptera aralensis*)

14. Rare shrubs, wormwood (*Artemisia diffusa*), and selenium (*Stipagrostis pennata*) growing in fine hilly sandy wavy plains

15. Cherkez (*Saisola richteri*), kandym (*Calligonum aralense*) and psammofit bushes, sandy desert-soil and fine hilly sandy wave-like plains

16. Desert-sandy sandy plains with the growth of the common bollworm (*Salsola arbuscula* Pall), astragalus (*Astragalus*), alfalfa (*Calligonum aralense*) and black saxaul (*Haloxylon aphyllum*), as well as small hilly sandy plains with the growth of the common bollworm (*Halostachys belangeriana*) and the common sarsazan (*Halocnemum strobilaceum* (Pall))

17. Inclined plains of inter-sandy salt marshes with halophytes and takyr-like soils with the growth of sarsazan (*Halocnemum strobilaceum* (Pall)) and willow (*Tamarix hispida*)

18. Wave-shaped plains of sandy desert soils with nests and dunes, where annual halophytes grow

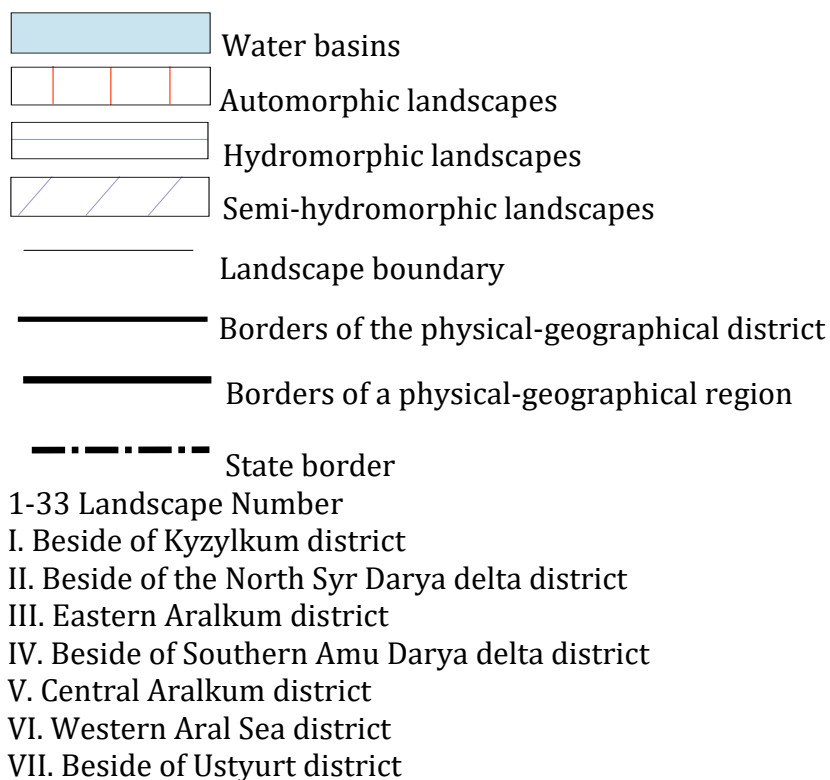
19. Accumulative plains with meadow soils with the growth of wormwood (*Halostachys belangeriana*), wormwood (*Tamarix hispida*) and salt marshes with annual halophytes

20. Accumulative plains with cane (*Phragmites australis*), wormwood (*Tamarix hispida*), sarsazan (*Halocnemum strobilaceum* (Pall)), saline takyr-like meadow soil and desert sandy soil

21. Plains with a slightly fragmented surface, with a common salt marsh and sandy soils, where black marshes (*Halostachys belangeriana*) grow

22. Concave sandy and barren plains with wormwood (*Artemisia diffusa*), black saxaul (*Haloxylon aphyllum*) and selenium (*Stipagrostis pennata*)

23. Inclined plains with heavily saline desert sandy soils with the growth of safflower (*Halocnemum strobilaceum (Pall)*), wormwood (*Tamarix hispida*), black saxaul (*Haloxylon aphyllum*)
24. Lowland lowlands with saline takyr-like and sandy desert soils with the growth of *Halostachys belangeriana*, sarsazan (*Halocnemum strobilaceum (Pall)*), wormwood (*Tamarix hispida*)
25. Beaches that are under the active influence of seawater
26. Inclined coastal salt marshes with sparse halophytes
26. Inclined coastal salt marshes with sparse halophytes
27. Sea-affected coastlines and wet salt marshes without vegetation
28. Salt marshes (*Salicornia herbacea*, *Salsola foliosia*, *Climacoptera aralensis*) are common salt marshes and salt marshes without vegetation
29. Accumulative plains with sandy desert soils, where sparse salt marshes (*Atriplex fominii*, *Salsola foliosia*, *Climacoptera aralensis*), wormwood (*Artemisia diffusa*), alfalfa (*Calligonum aralense*) grow
30. Rare salt marshes (*Atriplex fominii*, *Salsola foliosia*, *Climacoptera aralensis*, *Salicornia herbacea*), grey-brown and plain salt marshes
31. The alluvial plains with salt marshes (*Atriplex fominii*, *Salsola foliosia*, *Climacoptera aralensis*, *Salicornia herbacea*) and grey-brown soils with wormwood (*Artemisia diffusa*), rainbow trout (*Salsola arbuscula Pall*)
32. Sea-influenced coastlines and inter-sandy coastal salt marshes with halophytes and sloping plains with grey-brown soils with sparse wormwood (*Artemisia diffusa*)
33. Inclined inter-sandy plains with coniferous salt marshes and buyrgun (*Anabasis salsa*), boyalich (*Salsola arbuscula Pall*), grey-brown soils with wormwood (*Artemisia diffusa*)



**Figure 2a. Legend of the Map landscape and physical-geographical zoning of the Aral physical-geographical region**

Variety is the smallest unit of classification of landscapes. The main feature that serves as the basis for their identification and mapping is the characteristics of their soil and vegetation. A total of 33 landscape types have been identified. Most of them belong to the automorphic group and to the category of modern marine plains. The stated ideas can also be identified from landscape names.

Analysis of this landscape map shows that the combination of other characteristics, in addition to these classification units, motivates the physical-geographical zoning of this territory. In other words, the landscape allows for the identification of regional units based on the analysis of typological units. Such units, which we have identified, are reflected on the landscape map.

As discussed above, we adopted the area under study as the ***Aral physical-geographical region***. A county is a division between a province and a physical geographical region. Physical-geographical regions are large territories within a province, with unique connections and characteristic features between the components of the geosystem, which are not repeated in adjacent territories [1, 2, 3]. The Aral physical-geographical district belongs to a small province of the plain and is a unique physical-geographical complex with its geographical location, relief features, rock composition and character, hydrogeological and climatic conditions, soil and vegetation groups.

The 1960 maritime boundary line was adopted as the boundary of the Aral physical-geographical region, and the areas of eastern marine deposits were also added. This can also be considered an orographic boundary. The county occupies an area of more than 75,000 square kilometers and is structurally heterogeneous. There are differences in the nature of the northern, southern, western, central, and eastern parts. These differences are manifested in the gypsometry, fragmentation, and slope of the surface, as well as in age, the analysis of which necessitates the identification of a number of physical-geographical districts. A physical-geographical district is a part of a county that differs in geomorphological or climatic features.

Landscapes formed on the dried-up bottom of the Aral Sea differ from landscapes of other regions in terms of time, age, formation, and development directions. Based on the analysis of the landscape map compiled taking this into account, within the Aral physical-geographical district, the Kyzylkum, the Northern Syr Darya delta, the Eastern Aralkum, the Southern Amu Darya delta, the Central Aralkum, the Western Aralkum, and the Ustyurt region were identified. On the landscape map, they were displayed in roman numerals. Below we will give a detailed description of them.

**I. The physical-geographical district Beside of Kyzylkum** borders the Kyzylkum district to the east, the Eastern Aralkum district to the west, the Beside of South Amu Darya delta district to the southwest, the Beside of North Syr Darya delta district to the northwest, and the Beside of Syr Darya delta to the northeast. The district occupies 12.5% of the county's area. The territory of the district consists of ancient sea-sandy plains, primarily composed of pleiocene-holocene rocks, with an absolute elevation of up to 85 meters at the site of islands older than 50 meters. The thickness of the deposits is not very large, up to 5-6 meters. The surface is sloping, mainly composed of eolian forms – sand hills and dunes (height 2-8-10 m), while in low places there are numerous salt marshes (Figure 3).



**Figure 3. Takyr salt marshes in the Aral region (author's photo)**

The district includes 4 landscape types, which are formed in an automorphic group. The overall surface of these landscapes slopes westward, and in their appearance, psammophytic plants predominate.

The former Akpetki archipelago, consisting of more than 300 islands, and many bays with a depth of 7-8 meters, are located within this region (landscape 2, figures 2 and 2a). The islands in the archipelago were not separated because they were at the level of facies and urochishe, and they were classified as ancient sea plains landscape. The physical-geographical districts of the Kyzylkum districts differ from other regions in that the structure of the landscapes formed here has already been formed, and all of them belong to the category of ancient sea plains.

**II. The physical-geographical district Beside of the North Syr Darya delta** is bordered by the Syr Darya delta to the east, the Aral Sea and the Great and Small Bursuq sands to the north and northeast, the Beside of Ustyurt district to the southwest, the Central and Eastern Aral Sea district to the south, and the Beside of Kyzylkum district to the southeast. The area within this boundary constitutes 17% of the county's area. The Small Aral Sea is located within the district. This lake accounts for 25.5% of the area of the district. The land surface of the district is mainly brought by the Syr Darya River and is composed of marine deposits. The surface of the district is sloping towards the Small Aral Sea and its absolute elevation is around 40-160 meters. The district has 16 landscape types. Most of these landscapes belong to the category of modern marine plains and are divided into 3 groups – automorphic, hydromorphic and semi-hydromorphic. Near the Small Aral Sea, hydromorphic (groundwater levels up to 1-3 meters) landscapes were formed, and as they moved away from it, semi-hydromorphic (3-5 meters) and automorphic (5 meters and deeper) landscapes were formed.





**Figure 4. *Cardium edule* L seashells in the Aralkum (author's photo)**

**III. The Eastern Aralkum physical-geographical district** borders the Kyzylkum district to the east and south, the Beside of North Syr Darya Delta district to the north, the Central Aralkum district (Figure 4) to the west, and the Beside of South Amu Darya delta district to the southwest, constituting 13% of the district's area. The area of the raion encompasses areas that became dryland between 1960 and 1984 and has an absolute elevation of 42-53 m. The surface is composed of sandy, loamy clay rocks and sandy loams. Most of the district consists of landscapes of the automorphic group. One landscape (24-landscape, figure 2 and 2a) has semi-hydromorphic conditions. In the vicinity of the Beside of Kyzylkum side district of the Eastern Aralkum district, numerous sand dunes and hills exceeding 3-5 meters in height can be found. They are getting thinner and thinner to the west. The area is dominated by a landscape (22 landscape, figure 2 and 2a) of hilly sandy and barren plains with the growth of wormwood, black saxaul, and selenium. The general appearance of the physical-geographical region is characterized by halopsammoid and psammophytic plants. One of the landscapes within the district belongs to the category of ancient marine plains, while the rest belong to the category of modern marine plains.

**IV. The physical-geographical district of the Beside of Southern Amu Darya delta** is located in the northern part of the Amu Darya delta. The district includes the dried-up southern parts of the Aral Sea. The region borders the Beside of Kyzylkum and Eastern Aralkum districts to the east, the Central and Western Aralkum and Beside of Ustyurt districts to the north, the Ustyurt Plateau to the west, and the modern Amu Darya delta to the south. This boundary constitutes 12% of the county's area. The land surface of the district is mainly composed of sand, sand, clay, and aleurite rocks brought by the Amu Darya River, and the slope decreases towards the north. In the south of the physical-geographical district, near the Amu Darya delta, the groundwater level in 1991 was 5 meters, and in 2002 it was 10-15 meters deep. By 2005, the groundwater level had risen to 5-6 meters due to the influx of river water into the Saribas Bay.

This area has been well studied by scientists. In 2001, A. Kurbaniyazov [8] identified 40 physical-geographical complexes in this area. By 2007, botanists [15] had identified 9 physical-geographic complexes. We have identified 8 types of landscapes in the physical-

geographical district. Most of these landscapes belong to the category of landscapes of modern marine plains, the formation of which is associated with the retreat of the sea.

**V. The Central Aralkum physical-geographical district** is located in the center of the region. The district borders the Eastern Aralkum district to the east, the Beside of North Syr Darya delta district to the north, the Western Aralkum district to the west, and the Beside of South Amudarya delta district to the south. This district occupies the largest area of the physical-geographical region (27%). The territory of the district includes lands freed from the water of the Eastern Aral Sea. From 1984 to the present day, the process of land conversion is accelerating here. The sea was shallow and rapidly turning into land. As a result, hydromorphic landscapes were formed on large areas. The Eastern Aral Sea, located in the center of the physical-geographical district, currently occupies 13% of the area. Hydromorphic landscapes predominate in the district. The main difference between this district and other districts is that there are many areas without vegetation, and 99% of them belong to modern marine plains.

Many of the landscapes of this physical-geographical district have not yet formed and continue to develop.

**VI. The Western Aral Sea physical-geographical district** is located between the Western and Eastern Aral Seas. This district borders the Central Aralkum district to the east, the Beside of North Syr Darya delta district to the north, the Beside of Ustyurt district to the west, and the Beside of South Amu Darya delta district to the south, and its area constitutes 11% of the district's area. The Arkhangelsk uplift, which passes through the Muynak and Kulandy peninsulas, and the previous Vozrojdeniye, Lazarev islands are within the district. The district includes 8 landscape types.



**Figure 5. Landscape of the Western Aral Sea physical-geographical district (author's photo)**

**VII. The Beside of Ustyurt physical-geographical district** is bordered by the Western Aralkum district to the east, the Beside of North Syr Darya delta district to the northeast, the Ustyurt Plateau to the west, and the Beside of South Amu Darya delta district to the south. The Western Aral Sea, the deepest part of the Aral Sea, occupies the smallest (7.5%) area among the physical and geographical regions of the district. The lake occupies 61% of the



area of the district. Much of the area of the district consists of hydromorphic landscapes that have become dryland after 2000.

### **Conclusion**

As a result of our research, the first landscape-typological units of the Aral physical-geographical region and a map of its physical-geographical zoning were created. It has been established that 33 landscape varieties identified within the district belong to 1 class, 1 type, 1 subtype, 3 groups, and 2 categories. Due to the peculiarities of the landscape structure, 7 physico-geographical districts were identified (the Beside of Kyzylkum, the Beside of North Syr Darya delta, the Eastern Aralkum, the Beside of Southern Amu Darya delta, the Central Aralkum, the Western Aralkum, and the Beside of Ustyurt).

The landscapes of the Aral physical-geographical region, based on a certain pattern, formed landscapes extending from west to east in the southern and northern regions, and conversely, from north to south in the western and eastern regions. The use of these territories in the economy has not yet been established. When establishing the use of landscapes in the economy, it is important to be aware of the nature of the Aral physical-geographical region, the prospects for using its natural resources, and the problems of nature conservation.

**Funding:** There is no source of funding.

**Conflict of interests:** no conflict of interest.

**Author's contributions:** Data collection and photography of objects using field studies for the article; **Rana Ibragimova** carried out a critical review of the article's content; Project of the concept of the work, the analysis of the results of the article and the writing of the text, the approval of the final form of the article was carried out by **Mukhriddin Avezov**; Creation of the physical-geographical zoning map presented in the article and the development of its legend were carried out by **Aziza Ibraimova**.

### **References**

1. Babushkin L.N. Agroklimaticheskoe opisanie Srednej Azii [Agroclimatic description of Central Asia]: Nauch. tr. Voprosy agroklimaticheskogo rajonirovaniya Srednej Azii [Scientific works. Issues of agro-climatic zoning of Central Asia]. – Tashkent, 1964. Issue 236. - 289 p. [In Russian]
2. Babushkin L.N., Kogaj N.A. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Uzbekskoj SSR [Physico-geographical zoning of the Uzbek SSR] // Trudy TashGU, nov.pr., geograf. nauki, kn. 27. [Trudy Tashkent State University, nov.pr., geographical sciences, book 27.] - Tashkent, 1964. Issue 231. - 266 p. [In Russian]
3. Babushkin L.N., Kogaj N.A. Prirodnye territorial'nye komplekсы yugo-zapada Srednej Azii [Natural Territorial Complexes of the Southwest of Central Asia]. – Tashkent, 1975. – 116 p. [In Russian]
4. Bokachev N.G. Principy cvetovogo oformleniya sredne-masshtabnyh landshaftnyh (tipologicheskikh) kart (na primere karty Central'nyh chernozemnyh oblastej) [Principles of color design for medium-scale landscape (typological) maps (using the map of the Central Black Land Regions as an example)] // Uchenye zapiski. – Riga, 1961. – T. 37. – P. 209-218. [In Russian]
5. Gal'kov CH.V. O primenenii fonovyh znachkov pri sostavlenii landshaftnyh kart [On the use of background signs in the compilation of landscape maps] // Voprosy fizicheskoy i ekonomicheskoy geografii Uzbekistana [Questions of physical and economic geography of Uzbekistan. Scientific work. Tashkent State University]. – Tashkent, 1967. – Issue 310. – P. 69-74. [In Russian]
6. Gvozdeckij N.A. Opyt klassifikacii landshaftov SSSR [Experience of Classification of Landscapes of the USSR] // Materialy k 5-mu Vsesoyuznomu soveshchaniyu po voprosam landshaftovedeniya. Teksty dokladov. Izd. geogr. f-ta MGU. [Materials of the 5th All-Union Council on

Landscape Studies. Texts of reports. Moscow State University Geographical Institute]. – Moscow, 1961. – P. 23-34. [In Russian]

7. Isachenko A.G. Landshaftnaya karta SSSR masshtaba 1:4 000 000 i nekotorye voprosy metodiki izucheniya landshaftov [SSSR landscape map at a scale of 1:4,000,000 and some questions of landscape study methodology] // Materialy k 5-mu Vsesoyuznomu soveshchaniyu po voprosam landshaftovedeniya. Teksty dokladov. Izd. geogr. fakulteta MGU. [Materials for the 5th All-Union Council on Landscape Studies. Texts of reports. Moscow State University faculty of Geography, 1961. - C. 62-69.]– M., 1961. – P. 62-69. [In Russian]

8. Kurbaniyazov A.K. Stanovlenie i razvitie landshaftov yuzhnoj chasti obsohshego dna Aral'skogo morya i mery bor'by s processami opustynivaniya [Formation and development of landscapes of the southern part of the dried-up bottom of the Aral Sea and measures to combat desertification processes]. Dis. ... kand. geogr. nauk [Dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences]. – Tashkent: NUUz, 2001. – 151 p.

9. Nikolaev V.A. Problemy regional'nogo landshaftovedeniya [Problems of regional landscape studies]. – Moscow, 1979. - 160 p. [In Russian]

10. Pinhasov B.I. Neogen-chetvertichnye otlozheniya i novejschaya tektonika YUzhnogo Priaral'ya i Zapadnyh Kyzylkumov [Neogene-quadernary deposits and the latest tectonics of the Southern Aral Sea region and the Western Kyzylkum]. – Tashkent, 1984. – 152 p. [In Russian]

11. Pinhasov B.I. Paleogeografiya Aralo-Kaspijskogo regiona v pozdnem kajnozoie [Paleogeography of the Aral-Caspian region in the Late Cenozoic]. – Тошкент, 2020. - No. 4. - C. 7-12.] // Geologiya i mineral'nye resursy [Geology and Mineral Resources]. – Tashkent, 2003. – № 4. – P. 7-12. [In Russian]

12. Pinhasov B.I. Geologicheskaya karta obsohshego dna Aral'skogo morya (yuzhnaya chast') [The geological map of the dried-up bottom of the Aral Sea (southern part)] // Geologiya i mineral'nye resursy [Geology and mineral resources]. – Tashkent, 2006. No 2. – P. 14-23.

13. Rafikov A.A., Tetyuhin G.YU. Snizhenie urovnya Aral'skogo morya i izmenenie prirodnyh uslovij Nizov'ev Amudar'i [Reducing the level of the Aral Sea and changing the natural conditions of the lower reaches of the Amu Darya]. – Tashkent, 1981. – 200 p.

14. Rafikov A.A. Prirodnye usloviya osushayushchegosya YUzhnogo poberezh'ya Aral'skogo morya [Natural conditions of the drying-up Southern coast of the Aral Sea]. – Tashkent: Fan, 1982. – 148 p.

15. Shomurodov H., Allanazarova U., Rahimova T. Kartorafirovanie rastitel'nogo pokrova yuzhnoj osushennoj chasti dna Aral'skogo morya [Cartography of the vegetation cover of the southern drying part of the Aral Sea bottom] // Vestnik KKO AN RUz [Bulluten KKO AN RUz]. – Nukus, 2007. – № 4. – P. 49-52.

16. Mirakmalov M.T., Ibragimova R.A., Avezov M.M., Okhunjonova D.K. Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan // IOP Conference Series: Earth and Environment Science. – 2023. – Vol. 1284, № 1. – P. 012004. // <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1284/1/012004>

17. Avezov M.M. Physical geographical basis for the formation of the names of mountain glaciers in Uzbekistan and the problem of transcription of glacionyms (using the example of glacionyms of the Piskom basin) // BULLETIN of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. - 2024. - Vol. 147, No. 2 <https://bulchmed.enu.kz/index.php/bulchmed/article/view/423/298>

18. Ibragimova R.A., Sharipov Sh.M., Abdunazarov U.K., Mirakmalov M.T., Ibraimova A.A. Aral physical and geographic district, Uzbekistan and Kazakhstan // Asia Life Sciences. The Asian International Journal of Life Sciences. - 2019. Printed in the Philippines supplement 21(1) December 13. - P. 227-233.

19. Baklanov P.Ya., Moshkov A.V., Ushakov E.A. Zoning as a Method for Assessing Geographic Factors for the Purposes of Sustainable Development of the Region // Conference: Second Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2021). Advances in Economics, Business and Management Research. - Volume 195. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

20. Krivoguz D. Methodology of physiography zoning using machine learning: A case study of the Black Sea // Russian Journal of Earth Sciences. - 2020. - Vol. 20, № 1. - P. 1–10. <https://doi.org/10.2205/2020ES000707>.

**Ибрагимова Р.А.<sup>1</sup>, Аvezов М.М.<sup>2</sup>, Ибраимова А.А.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан*

### **Арал физикалық-географиялық ауданының ландшафттары және оларды аудандастыру тәжірибесі**

**Аңдатпа:** Мақалада Арал теңізінің құрғату аймағында пайда болған жаңа жерлер мен Шығыс Арал өңірінде теңіз шөгінділері кең таралған аймақтар жеке физикалық-географиялық бірлік – Арал физикалық-географиялық округі болып белгіленді. Мақалада Арал физикалық-географиялық округінің ландшафттары мен физикалық-географиялық аудандары да сипатталған. Физикалық-географиялық аудандастыру бірліктерін әр түрлі зерттеушілер әртүрлі жіктейтіні зерттеліп, Арал теңізінің физикалық-географиялық аймағының аудандастыру бірліктеріне сипаттама берілді. Орта масштабтағы (1: 500 000) Арал физикалық-географиялық округінің ландшафттары мен физикалық-географиялық аудандастыру картасы жасалды.

**Түйін сөздер:** ландшафт, Арал теңізі, шөлейттену, физикалық-географиялық аудандастыру, физикалық-географиялық аудан, физикалық-географиялық округ, Арал округі, рельеф, топырақ, өсімдік жамылғысы, ландшафттық карта, ландшафт түрі, физикалық-географиялық аудандастыру картасы.

**Ибрагимова Р.А.<sup>1</sup>, Аvezов М.М.<sup>2</sup>, Ибраимова А.А.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан*

### **Ландшафты Аральского физико-географического округа и опыты их районирования**

**Аннотация.** В данной статье в качестве отдельной физико-географической единицы – Аральского физико-географического округа были выделены новые земли, образованные в зоне дренажа Аральского моря и районы, где морские отложения широко распространены в районе Восточного Арала. В статье также описываются ландшафты и физико-географические районы Аральского физико-географического округа. Было изучено, что единицы физико-географического районирования классифицируются по-разному различными исследователями, описаны единицы районирования физико-географического района Аральского моря. Составлена карта ландшафтов и физико-географического районирования Аральского физико-географического округа среднего масштаба (1: 500 000).

**Ключевые слова:** ландшафт, Аральское море, опустынивание, физико-географическое районирование, физико-географический район, физико-географический округ, Аральский округ, рельеф, почва, растительность, ландшафтная карта, тип ландшафта, карта физико-географического районирования.

#### **Information about the authors:**

**Ibragimova R.A.** – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Geoinformation Systems of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, University st., 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan.

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-0787-4370>

**Avezov M.M.** – Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Geoinformation Systems of the

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, University st., 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan.

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-7918-3921>

**Ibraimova A.A.** – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography, Faculty of Geography and Geoinformation Systems of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, University st., 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan.

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4275-0574>

**Ибрагимова Р.А.** – география ғылымдарының кандидаты, Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан Ұлттық университетінің география және геоақпараттық жүйелер факультеті «Физикалық география» кафедрасының доценті, Университетская көш., 4, 100174, Ташкент, Өзбекстан.

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-0787-4370>

**Әвезов М.М.** – география ғылымдарының философия докторы (PhD), Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан Ұлттық университетінің география және геоақпараттық жүйелер факультеті «Физикалық география» кафедрасының доценті, Университетская көш., 4, 100174, Ташкент, Өзбекстан.

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-7918-3921>

**Ибраимова А.А.** – география ғылымдарының кандидаты, Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан Ұлттық университетінің география және геоақпараттық жүйелер факультеті «Картография» кафедрасының доценті, Университетская көш., 4, 100174, Ташкент, Өзбекстан.

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4275-0574>



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 87.21.15; 36.33.27

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-95-109>

Научная статья

## Методы картографирования для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами в условиях промышленности Актюбинской области

Е.Х. Какимжанов<sup>1</sup> , К.Т. Кыргызбай<sup>2\*</sup> , Б.Е. Шимшиков<sup>3</sup> ,  
Т.А. Базарбаева<sup>4</sup> , С.М. Жуматаев<sup>5</sup> 

<sup>1,2,3,4</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

(E-mail: <sup>1</sup>[erkinkakimzhanov@gmail.com](mailto:erkinkakimzhanov@gmail.com), <sup>2</sup>[kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com](mailto:kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com),  
<sup>3</sup>[bshimshikov@gmail.com](mailto:bshimshikov@gmail.com), <sup>4</sup>[Tursynkul.Bazarbaeva@kaznu.kz](mailto:Tursynkul.Bazarbaeva@kaznu.kz),  
<sup>5</sup>[serikzhumatayev@gmail.com](mailto:serikzhumatayev@gmail.com))

**Аннотация.** В работе проведено исследование по загрязнению почв тяжелыми металлами на территории Актюбинской области с применением методов картографирования. Впервые разработаны оценочно-информационные карты в среде ГИС, описывающие пространственное распределение хрома (Cr), никеля (Ni), мышьяка (As), молибдена (Mo), кобальта (Co), цинка (Zn), свинца (Pb), меди (Cu), кадмия (Cd), бора (B) в почве. Научная новизна исследования заключается в определении концентрации тяжелых металлов и их распространения на основе интерполяции по методу обратно взвешенных расстояний (IDW). В работе описываются результаты полевого почвенного обследования, выполненные на санитарно защитных зонах (СЗЗ) Донского горно-обогатительного комбината (ГОК) и Актюбинского завода ферросплавов. Почвенные образцы были исследованы методом химического анализа в лаборатории. Определение тяжелых металлов выполнено на основе химического анализа методом спектрометрии. Результаты исследований представляют комплексную картографическую модель, где указываются карты отбора проб и пространственное распределение отдельных элементов, которые позволяют детерминировать участки повышенной концентрации тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** ГИС-технологии, геопространственный анализ, загрязнения почв тяжелыми металлами, интерполяция, IDW, спектрометрия.

Поступила: 11.10.2024. Одобрена: 13.12.2024. Доступна онлайн: 31.12.2024.

## Введение

Промышленная деятельность в западных регионах Казахстана, в частности, в Актюбинской области, оказывает серьёзное воздействие на экологическую обстановку. Этот регион является центром добычи нефти, а также цветных и полиметаллических руд. В результате промышленного развития за последние несколько десятилетий возникли серьёзные экологические проблемы, одной из которых является загрязнение почвы.

Ведущие отрасли региона, включая нефтяную и горнорудную промышленность, способствуют накоплению тяжёлых металлов и углеводородов в почвенных горизонтах, что негативно сказывается на окружающей среде и здоровье населения [1].

Горнорудная промышленность также вносит значительный вклад в загрязнение почв. Основные загрязнители, выделяющиеся при горнодобывающих работах, включают тяжёлые металлы, такие, как свинец, кадмий, мышьяк, медь, цинк и ртуть [2–5]. Эти металлы выделяются в окружающую среду при переработке руды, что приводит к их накоплению в почве и водных системах. Накопление тяжёлых металлов в почве может привести к изменению её свойств и, как следствие, к частичной или полной потере плодородия [5–8].

Загрязнение почвы тяжёлыми металлами может иметь серьёзные последствия для здоровья человека и животных. Эти металлы, попадая в организм через пищу, способны вызывать различные заболевания. В результате количество больных людей и животных растёт, а продолжительность жизни сокращается. Кроме того, снижается урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность животноводства.

Особенно опасным является загрязнение почв мышьяком и кадмием, которые обладают высокой токсичностью для живых организмов. Эти металлы могут накапливаться в растениях и животных, вызывая их гибель или снижая репродуктивные способности, что приводит к нарушению экосистемных процессов и биоразнообразия [5, 9–12].

Загрязнение почвы происходит в результате ряда физических, химических и биологических процессов, которые способствуют миграции и накоплению токсичных веществ в почвенных горизонтах. Основными механизмами загрязнения почвы нефтяными и горнорудными отходами являются адсорбция, инфильтрация, миграция через пористые слои и диффузия загрязняющих веществ.

Одним из важных процессов загрязнения является адсорбция загрязняющих веществ на поверхности почвенных частиц. Например, углеводороды и тяжёлые металлы могут адсорбироваться на органических веществах и глинистых минералах, что замедляет их передвижение через почву, но одновременно увеличивает их токсичность для почвенной биоты [3, 5, 11, 13]. Мышьяк, кадмий и свинец образуют устойчивые комплексы, затрудняющие их разложение и вымывание из почвы.

Загрязнение почвы оказывает сильное воздействие на почвенную биоту, включая микроорганизмы, растения и животных. Тяжёлые металлы, такие, как кадмий, могут ингибировать ферментативную активность микроорганизмов, снижая их способность разлагать органические вещества. Это приводит к нарушению круговорота питательных веществ и ухудшению плодородия почвы [5, 12].

Загрязнение почвы токсичными веществами приводит к изменению её физико-химических свойств, что ухудшает её способность поддерживать растительность и водоудерживающую способность. Тяжёлые металлы накапливаются в верхних горизонтах почвы, что способствует их дальнейшей миграции в водные системы. В районах Актюбинской области с интенсивной промышленной деятельностью



загрязнение грунтовых вод тяжёлыми металлами достигает опасных уровней, что угрожает не только экосистемам, но и населению, использующему воду для питья и орошения [14–16].

## Материалы и методы

Актюбинская область обладает разнообразными природными условиями, начиная от степей и полупустынь до пустынных ландшафтов, и играют важную роль в экономике страны благодаря богатым запасам природных ресурсов, включая нефть, газ и руду [17].

Актюбинская область граничит на севере с Российской Федерацией, на востоке с Костанайской и Улытауской областями, на юго-востоке с Кызылординской областью, на юге с Республикой Узбекистан, на западе с ЗКО, Атырауской и Мангистауской областями (рис. 1).

Климат резко континентальный, характеризуется жарким летом и холодной зимой. Лето обычно длится с июня по август, со средними температурами от +25°C до +40°C, в зависимости от района. Зимы холодные, со средними температурами в январе от -5°C до -20°C. Количество осадков в регионе варьируется от 150 до 300 мм в год, что делает большую часть территории засушливой или полузасушливой (Казгидромет, <https://kazhydromet.kz>).

Физико-географический ландшафт региона включает невысокие горы Мугоджар, являющиеся южным продолжением Уральских гор, которые находятся на территории Актюбинской области. Высоты достигают 657 метров (гора Большой Боктыбай), и здесь преобладают полупустынные и степные ландшафты [18].

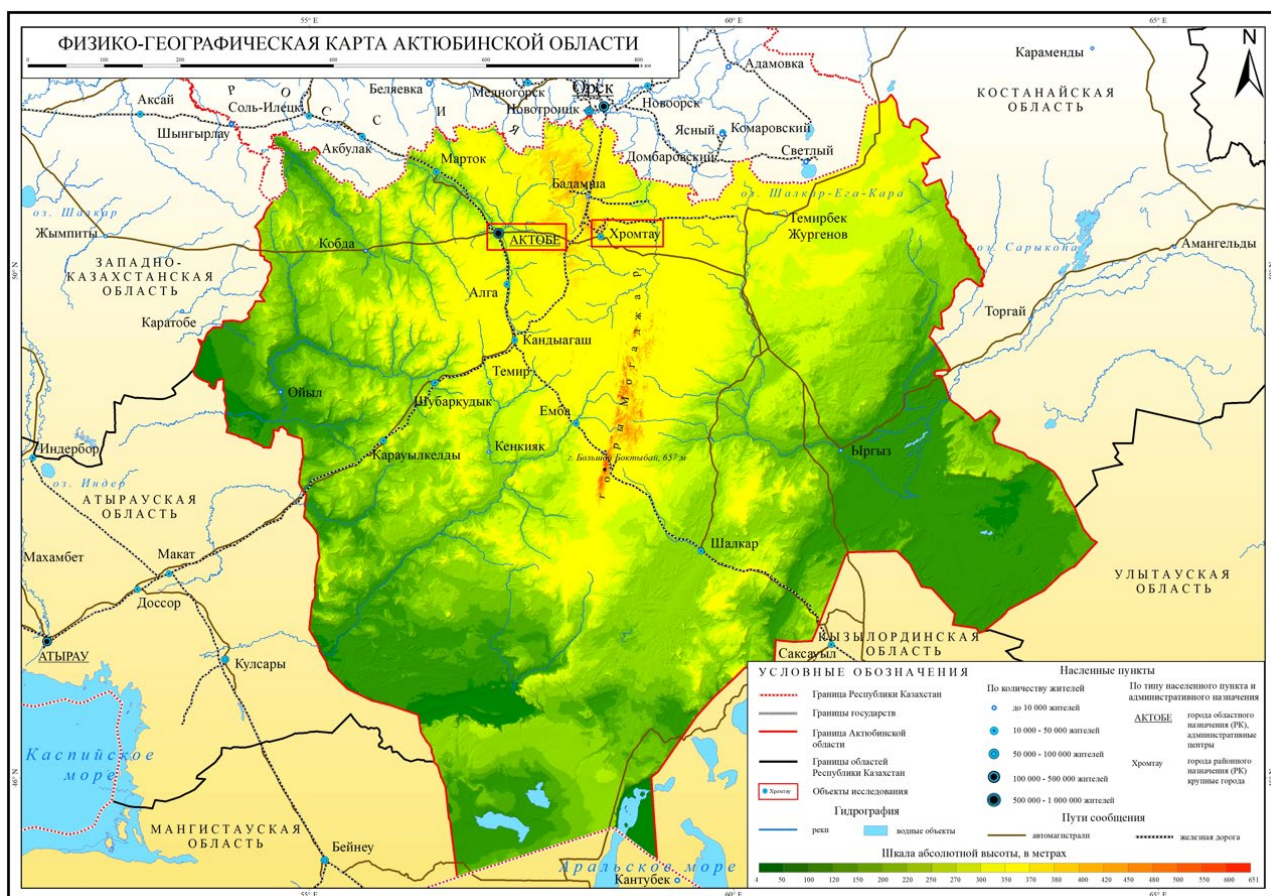


Рисунок 1. Физико-географическое расположение Актюбинской области

В качестве объектов исследования оценки загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Актюбинской области были выбраны Донской горно-обогатительный комбинат (ГОК) и Актюбинский завод ферросплавов (рис. 2).

Полевое исследование Донского горно-обогатительного комбината (ГОК) выполнено вблизи города Хромтау на отдалении от санитарно-защитной зоны (СЗЗ). На территории объекта находятся карьеры хромовых руд и отвалы (30-50 м в высоту). В городе Актобе основным объектом был выбран завод хромовых соединений.



**Рисунок 2. Полевое исследование почв на территории санитарно-защитных зон Донского ГОКа и Актюбинского завода ферросплавов**

Одним из наиболее распространённых методов мониторинга загрязнённых почв является химический анализ, который позволяет определить концентрации тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ.

Метод спектрофотометрии используется для определения концентраций таких тяжёлых металлов, как свинец, кадмий, ртуть и мышьяк. ААС позволяет с высокой точностью определить даже низкие концентрации этих элементов в почвенных образцах, что делает его одним из ключевых методов исследования загрязнённых почв [19–22].

Полученные показатели тяжелых металлов интегрируются в ГИС среду для дальнейшего анализа распространения на поверхности. Геостатистические методы, такие, как интерполяция кригинга, используются для пространственного анализа и картирования загрязнённых территорий. Эти методы позволяют на основе выборочных данных построить карты загрязнённости почвы, которые помогают визуализировать распределение тяжёлых металлов и углеводородов на больших территориях [23–27].

Геоestatистика позволяет определить «горячие точки» загрязнения, где концентрации вредных веществ особенно высоки. Это даёт возможность эффективно планировать мероприятия по очистке, направляя ресурсы туда, где загрязнение наиболее опасно. ArcGIS 10.6 [5, 27–31] активно используется для пространственного анализа загрязнений.

В исследовании наиболее оптимальным видом детерминированной моделью пространственной интерполяции был выбран метод обратно взвешенных расстояний (IDW). Общая предпосылка этого метода заключается в значении атрибутов любой данной пары точек, связанных друг с другом, но их сходство обратно пропорционально расстоянию между двумя местоположениями [32, 33]. Данный метод был внедрен во все известные ГИС-программные обеспечения и является сравнительно простым при выполнении геоestatистического анализа поверхности [34].

Метод IDW учитывает [35] простую пространственную зависимость при интерполяции точечных наблюдений. Это не требует априорного исследования

пространственной изменчивости рассматриваемой переменной, в отличие от более сложных геостатистических подходов. Формально метод IDW используется для оценки неизвестного значения  $\hat{y}(S_0)$  в местоположении  $S_0$ , учитывая наблюдаемые значения  $y$  в выбранных местоположениях  $S_i$  следующим образом:

$$\hat{y}(S_0) = \sum_{i=1}^n \frac{d_{oi}^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_{oi}^{-\alpha}} y(S_i) \quad (1)$$

В уравнении (1) числитель является обратным расстоянию ( $d_{oi}$ ) между  $S_0$  и  $S_i$  со степенью  $\alpha$ , а знаменатель представляет собой сумму всех весов обратного расстояния для всех местоположений  $i$ , так что сумма всех  $l_i$  для точки без выборки будет равна единице [34–36].

Метод IDW позволяет визуализировать распространение тяжелых металлов на основе созданной растровой поверхности.

### Результаты и обсуждение

В результате полевой почвенной экспедиции были отобраны образцы почв в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [37] с применением GNSS приемника Spectra Geospatial SP85.

Для определения влияния Донского ГОКа и карьеров на загрязнение почв заложен почвенный разрез и отбирались образцы почв методом конверта в юго-восточном и северо-западном направлениях согласно розе ветров на отдалении 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м и 5000 м, а также на территории городских парков (Аллея горняков и Центральный парк города Хромтау). Всего по исследуемой территории отобраны 18 образцов: Разрез №1 (0-8 см); 100 м, 250 м, 500 м на юго-восток от Разреза №1; Подножия отвала; 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м и 5000 м на северо-запад от отвала; Центральный парк и Аллея горняков города Хромтау, граница города Хромтау (рис. 3).

На границе промзоны Актюбинского завода феррасплавов заложен почвенный разрез и отобраны образцы почв в санитарно-защитной зоне и за ней на отдалении 100 м, 250 м, 500 м и 1000 м в западном и северном направлениях, а также на территории Центрального парка города Актобе. Всего отобрано 9 образцов: Разрез-3; 100 м, 250 м, 500 м и 1000 м на запад от СЗЗ; 100 м, 250 м и 500 м на север от СЗЗ; Центральный парк города Актобе (рис. 4).

Отобранные пробы были отправлены в сертифицированные испытательные лаборатории ТОО «Экосервис-С» и «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова» для определения концентраций тяжелых металлов. В лаборатории ТОО «Экосервис-С» применялись следующие инструменты – Specord 210 PLUS, Ионметр лабораторный тип И-160, Пламенный фотометр Тип FLAPHO-4, Весы электронные AR 2140, Весы электронные ScoutSPS202F. В качестве средства измерений в лаборатории Казахского НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова использовался портативный XRF-анализатор, работающий на основе рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Результаты показателей содержания тяжелых металлов показаны на рисунках 3 и 4 в мг/кг.

На территории города Хромтау (рис. 3) наибольшая концентрация тяжелых металлов присуща следующим местам отбора:



- показатели никеля (ПДК – 85 мг/кг) превышают норму во всех точках отбора, кроме образцов №1, 12, 15, а наиболее завышенные показатели присутствуют в образцах №7, 9, 10, 11 (превышает ПДК в 20 раз);
- показатели молибдена (ПДК – 0,07 мг/кг) повышены в образцах №1, 10, 16 (в среднем ПДК завышено в 300 раз);
- показатели кобальта (ПДК – 50 мг/кг) повышены в образцах №7, 9, 10, 11 (превышает ПДК в 2 раза);
- показатели хрома (ПДК – 100 мг/кг) повышены во всех местах отбора, но наибольший показатель (7335 мг/кг) в образце № 17;
- показатели мышьяка (ПДК – 2 мг/кг) сравнительно повышены в образцах №1, 6, 8, 13, 15, 18 (в среднем ПДК завышено в 5 раз);
- показатели подвижного цинка (ПДК – 23 мг/кг), подвижной меди (ПДК – 3 мг/кг), подвижного свинца (ПДК – 6 мг/кг), подвижного бора (ПДК – 30 мг/кг) не превышают норму;
- показатели подвижного кадмия (ПДК – 0,5 мг/кг) наиболее повышены в образцах №6, 8, 15, 17 (превышает ПДК в 2 раза);
- показатели валового цинка (ПДК – 100 мг/кг) повышены в образце №7 (превышает ПДК в 1,5 раза);
- показатели валовой меди (ПДК – 3 мг/кг) и валового кадмия (ПДК – 0,5 мг/кг) повышены во всех образцах (в среднем превышает ПДК в 6 раз);
- показатели валового свинца (ПДК – 32 мг/кг) не превышают норму.

Номер образца	Наименования образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг													
		Никель	Молибден	Кобальт	Хром	Мышьяк	Подвижной цинк	Подвижная медь	Подвижной кадмий	Подвижной свинец	Подвижной бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
1	Разрез №1 (0-8 см)	19	124	7	1550	16	0,9	0,7	0,5	0,9	0,22	91,2	22,8	1,2	5,6
6	100 м на юго-восток от Разреза №1	739	5	56	2434	12	0,6	0,4	1,5	1,1	0	87,2	28,4	0,8	7,2
7	250 м на юго-восток от Разреза №1	2225	0	134	3307	9	0,5	0,2	0,9	1,4	0,14	146	26,4	3,6	6
8	500 м на юго-восток от Разреза №1	487	11	0	2849	13	0,5	0,1	1,1	1,5	0,01	72,4	21,2	3,2	3,6
9	Полножья отвала	1971	10	176	1416	6	1,4	1	0,1	0,7	0,07	60,8	18,8	3,6	2,4
10	100 м на северо-запад от отвала	1718	13	165	1479	0	1,1	0,7	0,6	0,7	0,13	68,8	15,2	1,2	3,6
11	250 м на северо-запад от отвала	1738	12	132	1171	0	0,3	0,6	0,6	0,6	0,11	64	17,2	2,4	2
12	500 м на северо-запад от отвала	52	8	17	180	0	1,7	0,5	0,8	1,1	0,15	65,2	17,6	2	5,6
13	1000 м на северо-запад от отвала	321	6	66	2205	11	0,6	0,3	0,8	0,7	0,08	74,4	16,4	2,4	3,6
15	Центральный парк города Хромтау	71	0	0	485	14	7,3	0,4	1,3	1,8	0,22	72,8	20,4	4,8	9,2
16	Аллея горняков, город Хромтау	563	10	51	3708	11	1,2	0,5	0,9	1,7	0,1	87,6	26,8	2	4,8
17	Граница города Хромтау	537	13	0	7335	10	5	0,6	1,1	1,3	0,38	99,2	21,6	3,6	5,6
18	5000 м на северо-запад от террикона	714	4	0	2524	12	0,2	0,5	0,9	0,6	0,17	66,4	18,4	1,6	5,2

**Рисунок 3. Результаты лабораторных исследований образцов почв на территории СЗЗ Донского ГОКа, г. Хромтау**

Наибольшие показатели тяжелых металлов на территории города Актобе (рис. 4) преобладают в следующих образцах:

- показатели никеля превышают норму в образцах №23, 26 (в среднем в 1,5 раза);
- показатели молибдена, хрома и показатели мышьяка повышены во всех образцах (превышает ПДК в 150 раз), кроме №34;
- показатели подвижного цинка, подвижной меди, подвижного свинца, подвижного бора не превышают норму;
- показатели подвижного кадмия повышены во всех образцах (превышает ПДК в 2 раза), кроме №23;
- показатели валового цинка повышены в образцах №27, 31, 34 (в среднем в 1,5 раза);
- показатели валовой меди и валового кадмия повышены во всех образцах;
- показатели валового свинца (ПДК – 32 мг/кг) не превышают норму.

Номер образца	Наименования образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг												
		Никель	Молибден	Хром	Мышьяк	Подвижной цинк	Подвижная медь	Подвижной кадмий	Подвижной свинец	Подвижной бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
23	Разрез-3	114	12	25165	4	1,4	0,6	0,3	0,3	0,06	55,6	22	0,4	4,4
26	100 м на запад от СЗЗ	110	17	18883	11	5,1	1,4	1,6	1,2	0,28	94,4	21,6	3,2	7,2
27	250 м на запад от СЗЗ	49	19	14197	14	6,6	1,1	1,6	1,3	0,21	150,8	21,2	5,2	7,2
28	500 м на запад от СЗЗ	88	20	2851	9	3,2	0,6	0,9	0,5	0,21	94,4	23,6	3,2	4,8
29	1000 м на запад от СЗЗ	76	11	3238	5	1,6	0,6	0,8	0,2	0,15	84,8	21,6	2,4	4,4
30	100 м на север от СЗЗ	84	11	10655	10	4	1,2	1,5	0,6	0,13	83,2	19,6	4	3,6
31	250 м на север от СЗЗ	80	5	9231	15	4,9	1,2	1,5	0,8	0,12	132	19,2	1,6	4
32	500 м на север от СЗЗ	83	9	6029	4	4,4	0,8	1	0,4	0,03	90,4	18,4	2,4	5,6
34	Актобе Центральный парк, 8000 м	0	0	0	0	3,7	0,7	0,9	0,4	0,42	102	23,2	1,2	4

Рисунок 4. Сравнение результатов лабораторных исследований образцов почв на территории СЗЗ Актыбинского завода феррасплавов

Пространственное распределение тяжелых металлов в почве было выполнено в программном обеспечении ArcGIS с применением группы инструментов ArcToolBox. В качестве области исследования были выбраны экстенты с площадью 80,97 км<sup>2</sup> и 92,25 км<sup>2</sup> для г. Хромтау (рис. 5) и г. Актобе (рис. 6), соответственно. Алгоритм создания растровых поверхностей включает обработку точечных данных в Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW.

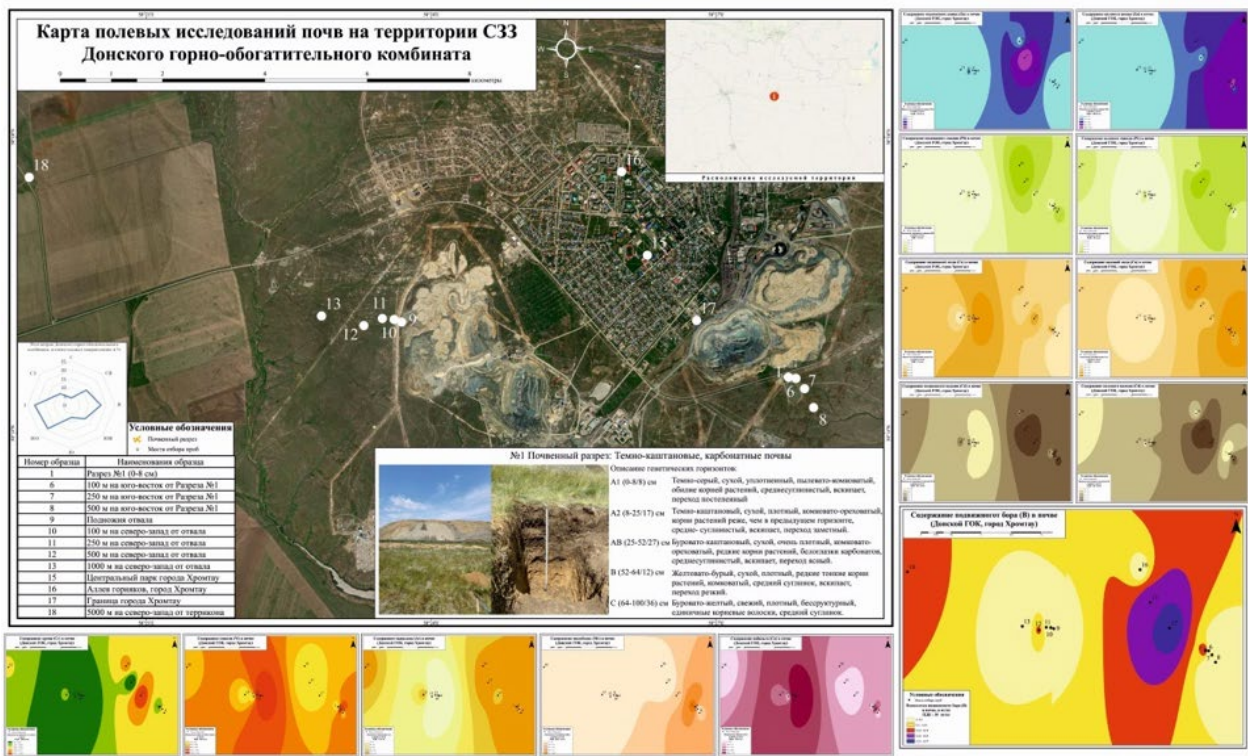
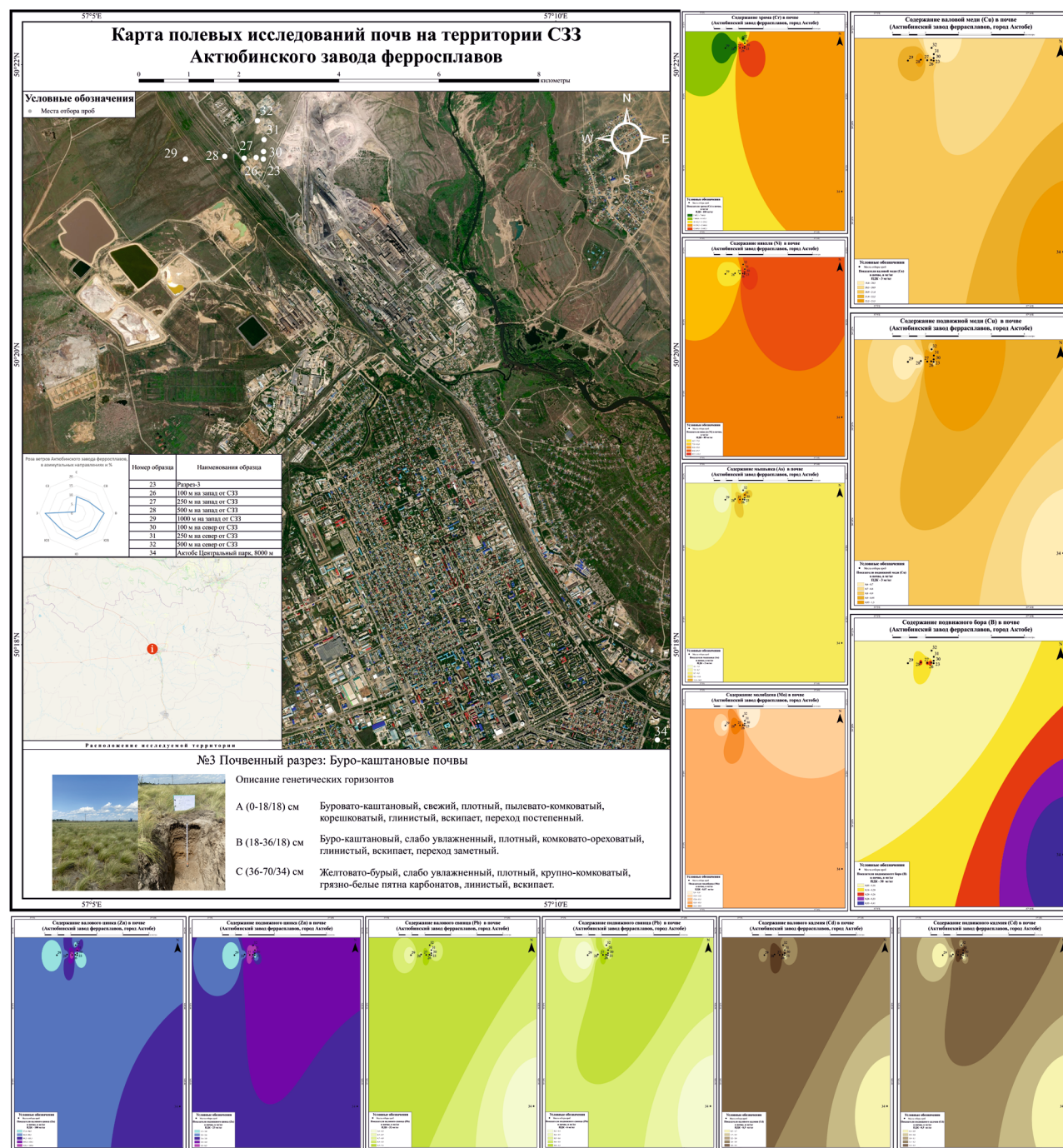


Рисунок 5. Картографическая модель точек отбора проб и распространения тяжелых металлов в почве (г. Хромтау, Донской ГОК)

В инструменте IDW в ячейку входных данных (Input point features) импортируем точки отбора проб с указанием столбца (z value field) показателя концентрации тяжелых металлов. Сохранение растра и выбор директории выполняется в output raster. Выбор, ограничивающий поверхности в виде выбранных экстентов, выполнялся в среде Environment Settings – Processing Extent и Raster Analysis. Шаг перехода интерполяции равен 5-ти для дифференциации спрогнозированных концентраций тяжелых металлов.

Ниже приводится описание зон с повышенными показателями тяжелых металлов в почве. По результатам интерполяции на территории г. Хромтау (рис. 6) наблюдается повышенное содержание никеля в почве, в пределах от 614,1 и до 2213,1 мг/кг.





**Рисунок 6. Картографическая модель точек отбора проб и распространения тяжелых металлов в почве (Актюбинский завод ферросплавов)**

Наибольший охват повышенного содержания элемента зарегистрирован в местах расположения отвала. Концентрация молибдена превышает норму в юго-восточном направлении в районе почвенного разреза (12,9 – 122,2 мг/кг). Наибольшее содержание кобальта в пределах 57,1-175,6 мг/кг распространен в центральной и восточной части исследуемого региона, куда входит центральная часть города и места отвала. Содержание хрома в почве превышает допустимую норму, однако самый высокий показатель в пределах от 4752,7 до 7333,6 мг/кг охватывает юго-восточную границу города. Показатели мышьяка на всем экстенде выше допустимых норм, но на территории отвалов сравнительно ниже 4,5 мг/кг.



Показатели подвижного кадмия повышены на всей территории, помимо западной части города. Самый высокий показатель (1,0-1,4 мг/кг) наблюдается в восточной и центральной частях города. Зоны с содержанием валового цинка выше 100 мг/кг расположены в восточной части исследуемой территории. Показатели валовой меди свыше 15,2 мг/кг и валового кадмия свыше 2,0 мг/кг распространены во всей территории экстенда.

На территории г. Актобе к превышающим предельно допустимую концентрацию элементам относятся никель, молибден, хром, мышьяк, кадмий, валовый цинк, валовая медь и валовый кадмий. Показатели никеля в почве повышены (выше 83,8 мг/кг) в северо-восточной и южной частях исследуемой территории. Содержание молибдена (5,0 – 19,9 мг/кг), хрома (290,7 – 24 402,1 мг/кг), мышьяка (4,3-14,9 мг/кг), валовой меди (18,4 – 23,5 мг/кг), валового кадмия (0,5 – 5,1 мг/кг) и валового цинка (57,8 – 149,6 мг/кг) в почве имеет повышенный характер на всей территории экстенда.

## Заключение

Загрязнение почвы в Актюбинской области остаётся серьёзной экологической проблемой, вызванной активной деятельностью горнорудной промышленности. Накапливание в почвах тяжёлых металлов и их производных приводит к нарушению экосистем, снижению плодородия земель и ухудшению здоровья населения. В статье были рассмотрены ключевые источники загрязнения, механизмы миграции токсичных веществ, методы мониторинга и ремедиации загрязнённых земель.

В рамках исследования выполнено полевое обследование почв и отбор проб на санитарно-защитных зонах Донского ГОКа и Актюбинского завода феррасплавов, также построена растровая поверхность.

Впервые разработанные картографические модели, охватывающие территории городов Хромтау и Актобе, иллюстрируют пространственное распределение тяжелых металлов в почве по методу IDW. Результаты полевого, лабораторного и камеральных этапов исследования показывают повышенные показатели предельно допустимых концентраций хрома, молибдена, кобальта, никеля в среднем в два раза. Проведенные исследования являются ключевыми при принятии мер по очистке и уменьшению концентрации тяжелых металлов в почве для исполнительных органов. Однако в будущих работах планируется провести мониторинг и определить динамику изменения концентраций тяжелых металлов в почве.

Для эффективного решения проблемы необходим комплексный подход, включающий постоянный мониторинг с использованием химических, биоиндикационных и геостатистических методов, а также применение современных технологий очистки почв, таких, как биоремедиация, химическая и термальная обработка.

Повышение экологической безопасности региона требует улучшения экологического учёта и контроля, а также активного взаимодействия между промышленностью, правительством и научными учреждениями для разработки эффективных стратегий защиты окружающей среды.

**Финансирование:** Научно-исследовательская работа выполнена в рамках Программы BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии», финансируемый ГУ «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан».

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** существенный вклад в концепцию или дизайн работы; сбор, анализ или интерпретация результатов работы: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т., Шимшиков Б.Е., Базарбаева Т.А., Жуматаев С.М.; написание текста и/или критический пересмотр его содержания: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т., Шимшиков Б.Е.; утверждение окончательного варианта статьи для публикации: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т.; согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т.

### Список литературы

1. Korabayev B. et al. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan // Regional Science Policy and Practice. Elsevier B.V. - 2024. Vol. 16, № 3. - 12727 <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>
2. Mirzaee S. et al. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data // Catena (Amst). Elsevier B.V. - 2016. - Vol. 145. - P. 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>
3. Wang Z. et al. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China // Soil Tillage Res. - 2021. - Vol. 211. - 105027 <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>
4. Zhou W. et al. Hyperspectral inversion of soil heavy metals in Three-River Source Region based on random forest model // Catena (Amst). - 2021. - Vol. 202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105222>
5. Song Y. et al. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data // Atmospheric Environment. - 2022. - Vol. 287. - 119274 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
6. Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>: One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing // Atmos Res. - 2018. - Vol. 212. - P. 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>
7. Costa-Böddeker S. et al. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam // Environmental Pollution. - 2018. - Vol. 242. - P. 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>
8. Zhou J. et al. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.) // J Hazard Mater. - 2020. - Vol. 384. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>
9. Moghimi Dehkordi M. et al. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods // Results in Engineering. Elsevier B.V. - 2024. - Vol. 23. - 102729 <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>
10. Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing // Remote Sens Environ. Elsevier Inc. - 2019. - Vol. 224. - P. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>
11. Tan K. et al. Estimating the distribution trend of soil heavy metals in mining area from HyMap airborne hyperspectral imagery based on ensemble learning // J Hazard Mater. Elsevier B.V. - 2021. - Vol. 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123288>
12. Khosravi V. et al. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods // Geoderma. Elsevier B.V. - 2018. - Vol. 318. - P. 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>
13. Yaseen Z.M. An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions // Chemosphere. Elsevier Ltd. - 2021. - Vol. 277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
14. Meng F. et al. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method // J Environ Manage. Academic Press. - 2023. - Vol. 345.

15. Шайхудинов Е.М., Касанова А.Г. Последствие нефтяного загрязнения для окружающей среды Атырауской области Республики Казахстан // *Science Time*. - 2020. - P. 68-72.
16. Boiko G.I. et al. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry // *Kazakhstan journal for oil & gas industry. KMG Engineering*. - 2023. - Vol. 5, № 2. - P. 99–116.
17. Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. - Астана, 2023.
18. Национальный атлас Республики Казахстан: научное издание. Т.1. Природные условия и ресурсы. Т.2. Социально-экономическое развитие. Т.3. Окружающая среда и экология. - Алматы, 2010.
19. Enuneku A.A. et al. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation // *Sci Afr. Elsevier B.V.* - 2021. - Vol. 14.
20. Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India // *Water Science. Taylor and Francis Ltd.* - 2017. - Vol. 31, № 1. - P. 52–66.
21. Sello Likuku A., B. Mmolawa K., Kabelo Gaboutloeloe G. Assessment of Heavy Metal Enrichment and Degree of Contamination around the Copper-Nickel Mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana // *Environment and Ecology Research. Horizon Research Publishing Co., Ltd.* - 2013. - Vol. 1, № 2. - P. 32–40.
22. Massadeh A.M., Al-Massaedh A.A.T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market // *Environmental Science and Pollution Research. Springer Verlag*. - 2018. - Vol. 25, № 2. - P. 1914–1920.
23. Oliver M.A., Webster R. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems // *International Journal of Geographical Information Systems*. - 1990. - Vol. 4, № 3. - P. 313–332.
24. Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area // *Water Air Soil Pollut. Kluwer Academic Publishers*. - 1995. - Vol. 83, № 1–2. - P. 161–172.
25. Tepanosyan G et al. Geospatial mapping, source identification and human health risk assessment of heavy metals in soils of Gyumri (Armenia). - Greece, 2017. - 31 p.
26. Wang X.J. et al. Kriging and PAH pollution assessment in the topsoil of Tianjin area // *Bull Environ Contam Toxicol*. - 2003. - Vol. 71, № 1. - P. 189–195.
27. Léandre F. et al. Natural degradation of spilled fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis // *Reg Stud Mar Sci. Elsevier B.V.* - 2023. - Vol. 58.
28. Kuznetsov A.N., Fedorov Y.A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier // *Mediterranee. Presses Universitaires de Provence*. - 2013. - Vol. 119, № 2. - P. 91–99.
29. Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil Pollution of the Coastal Zone of the Black Sea in an Area of Intensive Navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the Dynamics of Natural Attenuation Process. - 2020.
30. Nikanorov AM, Stradomskaya AG. Problems of Oil Pollution of Freshwater Ecosystems. - 2008.
31. Paegelow M. Expression (carto-)graphique, cours et travaux dirigés. - 2000.
32. Longley Paul. et al. Geographical information systems. Volume 1, Principles and technical issues. John Wiley. - 1999. - 580 p.
33. Mcdonnell R.A. Principle of Geographic Information Systems. - 1998.
34. Lu G.Y., Wong D.W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique // *Comput Geosci*. - 2008. - Vol. 34, № 9. - P. 1044–1055.
35. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference on*. - New York, New York, USA: ACM Press. - 1968. - P. 517–524.
36. Berndt C., Haberlandt U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany—Influence of temporal resolution and network density // *J Hydrol Reg Stud. Elsevier B.V.* - 2018. - Vol. 15. - P. 184–202.

37. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Electronic resource] // ГОСТ 17.4.4.02-2017. 2017.

**Е.Х. Какимжанов<sup>1</sup>, К.Т. Кыргызбай<sup>2</sup>, Б.Е. Шимшиков<sup>3</sup>, Т.А. Базарбаева<sup>4</sup>,  
С.М. Жуматаев<sup>5</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
<sup>5</sup> Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы,  
Қазақстан*

### **Ақтөбе облысының өнеркәсіп жағдайында топырақтың ауыр металдармен ластануын картографиялық әдістер негізінде бағалау**

**Аңдатпа.** Жұмыста картаға түсіру әдістерін қолдана отырып, Ақтөбе облысының аумағында топырақтың ауыр металдармен ластануы бойынша зерттеу жүргізілді. Хром (Cr), никель (Ni), мышьяк (As), молибден (Mo), кобальт (Co), мырыш (Zn), қорғасын (Pb), мыс (Cu), кадмий (Cd), бор (B) элементтерінің топырақта кеңістіктік таралуын сипаттайтын ГАЗ ортасында ақпараттық-бағалау карталары әзірленді. Зерттеудің ғылыми жаңалығы - ауыр металдардың таралу концентрациясын кері өлшенген қашықтық (IDW) интерполяция әдісі бойынша анықтау. Жұмыста Дөң тау-кен байыту комбинаты мен Ақтөбе ферроқорытпа зауытының санитарлық қорғау аймақтарында (СҚА) орындалған далалық топырақты зерттеу нәтижелері сипатталған. Топырақ сынамаларының үлгілері зертханалық жағдайда химиялық талдауға зерттелді. Ауыр металдарды анықтау спектрометрия әдісімен химиялық талдау негізінде жүзеге асырылады. Зерттеу нәтижелері ауыр металдардың жоғары концентрациясының аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретін іріктеу карталары мен жеке элементтердің кеңістіктік таралуын көрсететін кешенді картографиялық модельді ұсынады.

**Түйін сөздер:** ГАЗ технологиялары, геокеңістіктік талдау, топырақтың ауыр металдармен ластануы, интерполяция, IDW, спектрометрия.

**Ye. Kakimzhanov<sup>1</sup>, K. Kyrgyzbay<sup>2</sup>, B. Shimshikov<sup>3</sup>, T. Bazarbayeva<sup>4</sup>, S. Zhumatayev<sup>5</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*<sup>5</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

### **Mapping methods for assessing soil pollution with heavy metals in the industrial conditions of Aktobe region**

**Abstract.** The paper conducted a study on soil pollution with heavy metals in the Aktobe region using mapping methods. Evaluation and information maps have been developed in the GIS environment describing the spatial distribution of chromium (Cr), nickel (Ni), arsenic (As), molybdenum (Mo), cobalt (Co), zinc (Zn), lead (Pb), copper (Cu), cadmium (Cd), boron (B) in the soil. The scientific novelty of the study is to determine the concentration of heavy metal propagation based on inversely weighted distance interpolation (IDW). The paper describes the results of a field soil survey performed in sanitary protection zones (SPZ) of Donskoy Ore Mining and Processing Plant and Aktobe Ferroalloy Plant. Soil samples were examined for chemical analysis in the laboratory. The determination of heavy metals was carried out on the basis of chemical analysis by spectrometry. The results of the research represent a comprehensive cartographic model, which indicates sampling maps and the spatial distribution of individual elements, which make it possible to determine areas of increased concentration of heavy metals.

**Keywords:** GIS technologies, geospatial analysis, soil contamination with heavy metals, interpolation, IDW, spectrometry.

## References

1. Korabayev B. et al. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan // *Regional Science Policy and Practice*. Elsevier B.V. - 2024. Vol. 16, № 3. - 12727 <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>
2. Mirzaee S. et al. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data // *Catena (Amst)*. Elsevier B.V. - 2016. - Vol. 145. - P. 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>
3. Wang Z. et al. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China // *Soil Tillage Res.* - 2021. - Vol. 211. - 105027 <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>
4. Zhou W. et al. Hyperspectral inversion of soil heavy metals in Three-River Source Region based on random forest model // *Catena (Amst)*. - 2021. - Vol. 202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105222>
5. Song Y. et al. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data // *Atmospheric Environment*. - 2022. - Vol. 287. - 119274 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
6. Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM2.5 and PM10: One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing // *Atmos Res.* - 2018. - Vol. 212. - P. 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>
7. Costa-Böddeker S. et al. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam // *Environmental Pollution*. - 2018. - Vol. 242. - P. 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>
8. Zhou J. et al. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.) // *J Hazard Mater.* - 2020. - Vol. 384. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>
9. Moghimi Dehkordi M. et al. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods // *Results in Engineering*. Elsevier B.V. - 2024. - Vol. 23. - 102729 <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>
10. Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing // *Remote Sens Environ*. Elsevier Inc. - 2019. - Vol. 224. - P. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>
11. Tan K. et al. Estimating the distribution trend of soil heavy metals in mining area from HyMap airborne hyperspectral imagery based on ensemble learning // *J Hazard Mater*. Elsevier B.V. - 2021. - Vol. 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123288>
12. Khosravi V. et al. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods // *Geoderma*. Elsevier B.V. - 2018. - Vol. 318. - P. 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>
13. Yaseen Z.M. An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions // *Chemosphere*. Elsevier Ltd. - 2021. - Vol. 277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
14. Meng F. et al. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method // *J Environ Manage*. Academic Press. - 2023. - Vol. 345.
15. Shaikhudinov E.M., Khasanova A.G. Posledstvie neftjanogo zagrjaznenija dlja okruzhajushhej sredy Atyrauskoj oblasti respubliki Kazahstan [The consequence of oil pollution for the environment of the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan] // *Science Time*. 2020. P. 68-72 [In Russian].
16. Boiko G.I. et al. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry // *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. KMG Engineering. - 2023. - Vol. 5, № 2. - P. 99–116.
17. Committee on Ecology of the Republic of Kazakhstan. A report on the state of the environment in the western regions of Kazakhstan. Astana: Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2022 [In Russian].

18. Nacional'nyj atlas Respubliki Kazahstan: nauchnoe izdanie. T.1. Prirodnye uslovija i resursy. T.2. Social'no-jekonomicheskoe razvitie. T.3. Okruzhajushhaja sreda i jekologija. [National Atlas of the Republic of Kazakhstan: scientific publication. V.1. Natural conditions and resources. V.2. Socio-economic development. V.3. Environment and ecology.] Almaty, 2010 [In Russian].
19. Enuneku A.A. et al. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation // *Sci Afr. Elsevier B.V.* - 2021. - Vol. 14.
20. Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India // *Water Science. Taylor and Francis Ltd.* - 2017. - Vol. 31, № 1. - P. 52–66.
21. Sello Likuku A., B. Mmolawa K., Kabelo Gaboutloeloe G. Assessment of Heavy Metal Enrichment and Degree of Contamination around the Copper-Nickel Mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana // *Environment and Ecology Research. Horizon Research Publishing Co., Ltd.* - 2013. - Vol. 1, № 2. - P. 32–40.
22. Massadeh A.M., Al-Massaedh A.A.T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market // *Environmental Science and Pollution Research. Springer Verlag.* - 2018. - Vol. 25, № 2. - P. 1914–1920.
23. Oliver M.A., Webster R. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems // *International Journal of Geographical Information Systems.* - 1990. - Vol. 4, № 3. - P. 313–332.
24. Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area // *Water Air Soil Pollut. Kluwer Academic Publishers.* - 1995. - Vol. 83, № 1–2. - P. 161–172.
25. Tepanosyan G et al. Geospatial mapping, source identification and human health risk assessment of heavy metals in soils of Gyumri (Armenia). - Greece, 2017. - 31 p.
26. Wang X.J. et al. Kriging and PAH pollution assessment in the topsoil of Tianjin area // *Bull Environ Contam Toxicol.* - 2003. - Vol. 71, № 1. - P. 189–195.
27. Léandre F. et al. Natural degradation of spilt fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis // *Reg Stud Mar Sci. Elsevier B.V.* - 2023. - Vol. 58.
28. Kuznetsov A.N., Fedorov Y.A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier // *Mediterranee. Presses Universitaires de Provence.* - 2013. - Vol. 119, № 2. - P. 91–99.
29. Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil Pollution of the Coastal Zone of the Black Sea in an Area of Intensive Navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the Dynamics of Natural Attenuation Process. - 2020.
30. Nikanorov AM, Stradomskaya AG. Problems of Oil Pollution of Freshwater Ecosystems. - 2008.
31. Paegelow M. Expression (carto-)graphique, cours et travaux dirigés. - 2000.
32. Longley Paul. et al. Geographical information systems. Volume 1, Principles and technical issues. John Wiley. - 1999. - 580 p.
33. Mcdonnell R.A. Principle of Geographic Information Systems. - 1998.
34. Lu G.Y., Wong D.W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique // *Comput Geosci.* - 2008. - Vol. 34, № 9. - P. 1044–1055.
35. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference on* -. New York, New York, USA: ACM Press. - 1968. - P. 517–524.
36. Berndt C., Haberlandt U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany—Influence of temporal resolution and network density // *J Hydrol Reg Stud. Elsevier B.V.* - 2018. - Vol. 15. - P. 184–202.
37. Mezghosudarstvennyj standart. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Interstate standard. Nature protection. Soils. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis] [Electronic resource] // GOST 17.4.4.02-2017. 2017.



**Сведения об авторах:**

**Какимжанов Е.Х.** – PhD, и.о. доцента кафедры картографии и геоинформатики факультета географии и природопользования, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0001-6454-681X

**Кыргызбай К.Т.** – автор для корреспонденции, PhD, преподаватель кафедры картографии и геоинформатики факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0002-4279-6436

**Шимшиков Б.Е.** – к.б.н., доцент кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Базарбаева Т.А.** – к.г.н., доцент, заведующая кафедрой ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0009-0008-5685-5215

**Жуматаев С.М.** – докторант Горно-металлургического института имени О.А. Байконурова, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050013, Алматы, Казахстан.

ORCID 0009-0008-1618-7881

**Kakimzhanov Y.H.** – PhD, Associate professor, teacher, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-6454-681X

**Kyrgyzbay K.T.** – corresponding author, PhD candidate, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-4279-6436

**Shimshikov B.Y.** – Candidate of biological sciences, Associate professor, UNESCO department in Sustainable Development, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Bazarbayeva T.A.** – Candidate of geographical science, Associate professor, Head of department, UNESCO department in Sustainable Development, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0009-0008-5685-5215

**Zhumatayev S.M.** – PhD student, Department of Surveying and Geodesy, Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University, Satbayev street 22, 050013, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0009-0008-1618-7881



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 39.19.31

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-110-122>

Article

## Analysis of impact of anthropogenic factors on the landscape-geochemical state of the Nura river basin

G.T. Ospan<sup>1</sup> , J.O. Ozbekdinova<sup>2</sup> , A.A. Zhanguzhina<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

(E-mail: <sup>1</sup>[gauhara\\_ast@mail.ru](mailto:gauhara_ast@mail.ru), <sup>2</sup>[ozgeldinova@mail.ru](mailto:ozgeldinova@mail.ru), <sup>3</sup>[altyn8828@mail.ru](mailto:altyn8828@mail.ru))

**Abstract.** The study examines the formation of anthropogenic landscapes under the influence of multiple factors, including pollutants, radioactive substances, radiation, noise, and the extraction of natural resources. Society's transformation of natural landscapes into anthropogenic ones has become a global phenomenon, acquiring new characteristics due to scientific and technological advancements in mining, industrial chemistry, and agriculture. The Nura River basin, dominated by the metallurgical complex of Qarmet, serves as a key area for this investigation. This enterprise is the largest mining and metallurgical facility in Kazakhstan, producing a range of materials, including coated metals and raw industrial products. Geochemical analyses were conducted within the Nura River basin to assess the environmental impact of industrial activities. Water and soil samples were collected systematically, and pollutant concentrations were determined using accredited laboratory methods. Data were processed through statistical analysis to identify patterns and causal relationships.

The research revealed significant pollution in the Nura River basin, predominantly caused by industrial discharges containing heavy metals and other contaminants. Elevated concentrations of pollutants were linked to the metallurgical activities of Qarmet and other industrial enterprises. The transformation of natural landscapes into anthropogenic ones was found to be closely associated with the intensity of these activities.

The study highlights the critical influence of industrial processes on the geochemical composition of landscapes within the Nura River basin. The findings underline the need for improved environmental management, including the modernization of industrial processes and waste treatment systems, to mitigate anthropogenic impacts and ensure sustainable development in the region.

**Keywords:** landscape, anthropogenic landscapes, environmental degradation, pollution, environment.

Received: 31.10.2024. Accepted: 05.12.2024. Available online: 31.12.2024.

\* Corresponding author

## **Introduction**

Increasing influence of technogenic factors on the natural environment creates a different background of reverse reactions of landscapes in the processes of their self-regulation. Consequently, the “typification” of geo-ecological situations on a landscape basis will lead to even more unreliability of scientific research. In this regard, most physical geographers [1] recognize the prospects of a functional-holistic approach (“the third way”) towards differentiation of the natural environment and the geosystem-basin approach as its leading component.

Classics of the theory of techno genesis [1, 2] consider the basin as the main unit for calculating the balances of pollutants, self-cleaning of natural environments, migration of toxic elements, etc. This circumstance is one of the main reasons for applying the geosystem-basin concept in nature management. The origins of ideas about the basin as an integrated natural object found in the middle of the XX century in the works of representatives of the branch of sciences physical-geographical cycle. R. Horton and A.A. Virsky substantiated the idea of the pool as erosion complex, I.A. Titov as theoretically system, P. Balovich - a special complex of “functional aggregates”, created as a result of migration of the substance. The result was summed up by the hydrologist S.D. Muravevsky, who, emphasizing the importance of integrating processes, and first of all, the flow process, stressed that without transport, without movement, there can be no mutual relations, interactions. Atalay in his work linked the boundaries of natural complexes with the boundaries of flows, areas of removal and introduction of matter [3,4] considered river basins as cascading systems, coupled with flows of matter and energy so that the output of one of them forms the input of the other.

The main focus was on finding out balance ratios, equilibrium conditions, development and management trends. Approximately in the same years, a synthesis of positions concerning the basin was undertaken by both representatives of complex and branch physical geography and hydrologists, as well as the main provisions of the doctrine of geosystems [5]. Noting the advantages of this approach, L.M. Korytny assesses the catchment area as “a special spatial unit of the biosphere, the most promising for the multidimensional study of nature and Economics and for environmental management”.

The main industries that determine market specialization within the territory of the Nura River Basin are the metallurgical complex. Arcelor Mittal Temirtau Joint Stock Company is the largest enterprise in the mining and metallurgical sector of the Republic of Kazakhstan and is an integrated mining and metallurgical complex with its own coal, iron ore and energy base. Qarmet JSC specializes in the production of flat and rolled section steel, including those with polymer, zinc and aluminum coatings, and also produces agglomerate, iron ore and coal concentrate, coke, cast iron, steel, including continuously cast slabs, strips, and side members, electric-welded pipes and related products of blast furnace and coke-chemical production.

## **Materials and methods**

Many scientists have developed a methodology for assessing the nature and depth of anthropogenic transformation. To assess the performance criteria, modern land use is used, but the state of the geosystem is the result of intense impacts. According to Glazovskaya, in order to see the picture of anthropogenic variability of geosystems, one must bear in mind the anthropogenic influences in areas where processes of technogenesis are active at which geochemical change happens [6]. The study of the impact of anthropogenic factors on the landscape-geochemical state of the Nura River basin involved a systematic and interdisciplinary approach. The Nura River basin was selected as the study area due to its

ecological significance and proximity to major industrial facilities, including the Qarmet metallurgical complex. The region is characterized by significant anthropogenic pressure from industrial, agricultural, and urban activities.

Water and soil samples were collected from key points along the Nura river and its tributaries. Sampling sites were strategically chosen to capture variability in pollution levels, both upstream and downstream of industrial discharge points. Surface soil samples (horizon A1) were gathered from locations identified as hotspots for industrial and agricultural activity, following a grid-based approach with additional targeted sampling near identified pollutant sources. Sampling was conducted in multiple seasons (spring, summer, and autumn) to account for seasonal variations in pollutant levels.

Water sample analysis focused on measuring pollutant concentrations, including heavy metals such as  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and Hg, using atomic absorption spectrometry (AAS) at the accredited Kazhydromet laboratory in Karaganda. Additional chemical parameters, such as pH, sulfate ion content, and total dissolved solids (TDS), were also determined to assess the geochemical characteristics of water samples. Soil samples were analyzed for heavy metal content using X-ray fluorescence spectrometry (XRF) at the accredited EcoNUS laboratory in Karaganda. To evaluate soil contamination, the cumulative soil pollution index (Zc) was calculated to identify deviations from background concentrations of trace elements.

Geographic Information System (GIS) tools were utilized to integrate sample data into a unified cartographic framework, with spatial interpolation methods applied to create pollution maps of the study area. Experimental data were processed using variation statistical methods based on N.A. Plokhinsky's approach, calculating key indicators such as mean, standard deviation, range, and coefficient of variation. Microsoft Excel was employed for statistical analysis and data visualization. Comparative analysis was conducted by comparing the results with baseline values and established environmental standards to assess the extent of pollution.

Causal analysis correlated pollutant levels with anthropogenic factors such as industrial discharge data, land-use patterns, and agricultural activity. Historical data and previous studies were also reviewed to provide context for current findings. Quality control measures, including calibration of analytical instruments, duplicate sampling, and cross-validation of results with independent datasets, were implemented at every stage to ensure the reliability of findings.

This comprehensive methodology enabled an in-depth evaluation of the landscape-geochemical state of the Nura River basin, identifying key factors contributing to environmental degradation and informing strategies for mitigation and sustainable management.

The territory of the Nura River basin is located in the central part of Kazakhstan in the Karaganda and Akmola regions. The Nura River springs from the western spurs of the Kyzyltas Karkaraly-Aktau low-mountain massif at an altitude of 1000-1200 m BS. The total length of the river is 978 km.

Within the Nura River basin, fragments of individual landscapes were identified and shown on the map, which, as a result of their typological grouping, and then structural genetic classification, were ordered into hierarchical systematics. The following classification categories are distinguished by headings and subheadings in the legend: classes (plain and mountain landscapes), types (steppe and semi-desert landscapes), subtypes (north-desert landscapes).

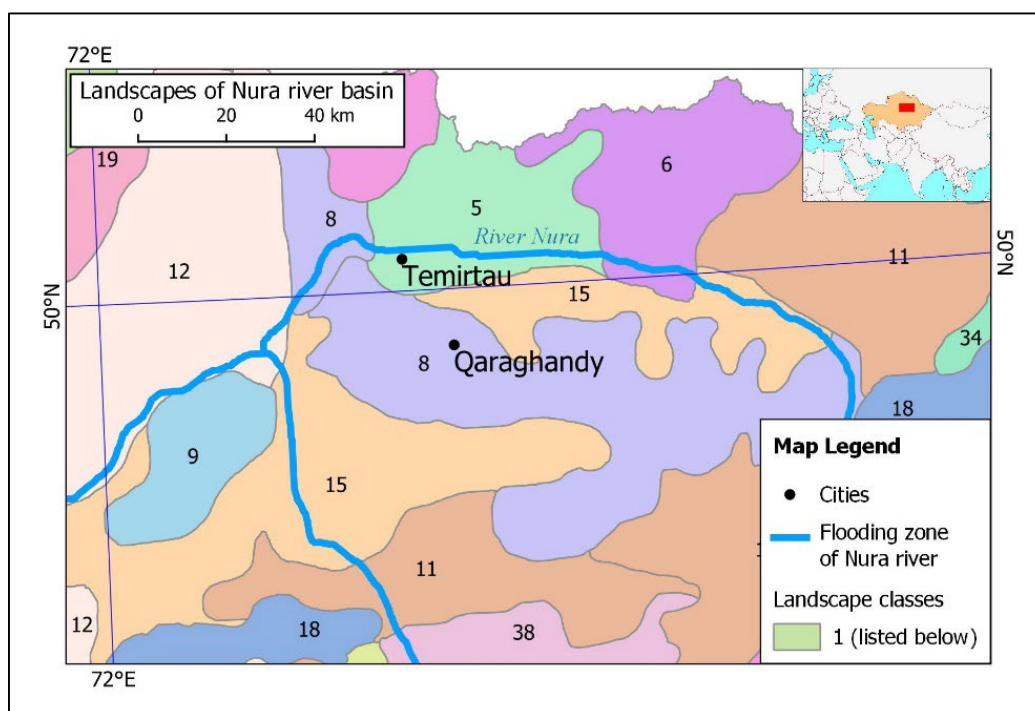
Our medium-scale (1:500,000) landscape map of the Nura Basin was structured according to the structural-dynamic principle of community typification and reflects the genetic origin and classification hierarchy (Figure 1). Its main task was to demonstrate the spatio-temporal patterns operating in geosystems. The classification of geosystems and the creation of a landscape-based legend are based on a system-hierarchical approach to identifying the subordination of landscape taxons. The idea of geochemical research is the consideration of various natural substances and energies as a whole on the earth's surface. These flows are

formed according to various degrees of complexity and stability and according to the types of functioning. The first task of geochemical research is the interaction between landscape components and the cycle of elements.

The territory of the Nura River Basin refers to steppe and semi-desert landscapes with biological information, water connections, and with intense direct air links. The average annual precipitation is 265 - 322 mm. Within the basins about 71 - 81% of the annual precipitation falls in the warm season. Winter precipitation is 19 - 29% of the annual amount. The maximum precipitation in the basin is most often observed in June-July, and the minimum falls in September.

## Results and discussion

The basin territory is characterized by a large heterogeneity of soil formation conditions (climate, relief, vegetation, etc.). In the northern part of the massif, on the high plains, the southern rich black soils are formed, with preserved relict solonetzicity. Dark chestnut, chestnut and light-chestnut soils are widespread. Soil salinity is noted, participation of soloncheks in soil complexes, readily soluble salts appear in the second meter of soils. In the region of the Kazakh small hills, short-developed, underdeveloped crushed soils are widespread, and in the northeast region of low mountains, the mountain chestnut soils were formed, and the mountain rich black soils are in the north.



**Figure 1. A fragment of the landscape map of the Nura River Basin**

**Table 1. Keywords to fragments of Nura basin's lanscape map (№ by map Figure 1). Geosystems Fragment description**

Geosystems	Fragment description
Steppe zone Peneplains	<p>5 - Riverine melkosopochnik, composed of effusive sedimentary rocks, with Austrianpole-tipchak-krasnokovynaya vegetation with tavolzhniki on dark-shtane soils with steppe salt flats.</p> <p>6 - Melkosopochnik is cone-shaped and dome-shaped, composed of effusive sedimentary rocks with tipchak-krasnokovynaya, Austrian wormwood-tyrsovy-fescue, cold-wormy-fescue vegetation with shrubs, on normal chestnut with steppe solonetztes and underdeveloped soils.</p>
Accumulative plains	<p>8 - Lacustrine - alluvial plain with lacustrine hollows, composed of loam, sandy loam, loamy gravel, pebble-fescue vegetation with the couch-grass, bonfire, spicy, small reed grass communities with mixed herbs on dark chestnut solonetzic soil with steppe solonetzic and grass land solonetztes.</p> <p>9 - Deluvially - proluvial plain composed of intrusive rocks with holopetrophytic wormwood - fescue with perennial glasswort and cocpec vegetation on underdeveloped light chestnut and short developed gravelly soils.</p> <p>11 - Melkosopochnik is ridge-domed, composed of effusive sedimentary rocks, with shrub - petrophytous herbaceous and shrub - turf - grass vegetation on chestnut normal with steppe salt pans and underdeveloped soils.</p> <p>12 - The melkosopochnik is hilly-withered, composed of effusive-sedimentary rocks, with Austrian-wormwood-type vegetation on dark-brown and partially chestnut soils.</p> <p>15- Alluvial-proluvial plain, composed of effusive sedimentary rocks, with feathery-wormwood-fescue and mixed-feathering vegetation on underdeveloped light chestnut soils with steppe solonetztes.</p> <p>18- Deluvial-proluvial dissected plain, composed of gravelly loams, clays, with holopetrophytic wormwood - fescue and cocpec vegetation on light chestnut, underdeveloped and short developed gravelly soils.</p> <p>19 - Lacustrine-alluvial slightly undulating plain with feathery-wormwood-fescue, mixed-wormwood-feather-grass of mesoxerophilic grasses, on dark-brown saline soils with saline.</p> <p>34 - Low mountains are heaped, composed of granites, granodiorites, porphyrites, with tipchak-kovyl-ovsets vegetation with the participation of kragana and meadowsweet on mountain dark-shtane and dark-shtane undeveloped soils.</p> <p>38 - Low mountains composed of clays, loams with karagan-cold-wormwood- tyrsian vegetation on dark-chestnut, underdeveloped and short developed gravelly soils.</p>

For the main dominant families, the following biogeochemical formulas are characteristic, compiled from the values of the concentration clarks of the most accumulating elements: cereals-Mo (Zn, Ag), Compositae-Mo (Ag,Cu), mallow-Ag (Mo, Sr), meadow steppe and marsh grasses (without legumes) –Sr, Mn (Zn, Mo), multi-colored –Sr (Mn, Ba, Zn, Ag), willow –Sr (Zn, Mn), birch Sr (Zn, Mo).

On the map of geochemical landscapes of the USSR by (Perelman, 1989), where landscapes of various classes of water migration of chemical elements and typomorphic elements characteristic of these classes, which determine the geochemical situation, are shown, the territory of the Nura River Basin, the most of the basin territory in the upstream belongs to the landscape of calcium-sodium (Ca - Na) class.

This class is characterized by low mountains and small hills, which belongs to the III genus. Wormwood communities are spreading here, water exchange is quite intense, with the predominance of mineralized fractured-ground waters of hydro-carbonate-calcium and sodium composition.

Under motley grass-grained petrophytic communities where biogeochemical and soil-geochemical mobilization of substances occurs in autonomous and traneluvial positions, thin gravelly black soils are formed. They are characterized by a neutral and slightly alkaline



reaction, the fulvate composition of humus, the contrast distribution of the silt fraction in the profile with a sharp maximum in the humus horizon, and carbonless upper soil [7].

The main geochemical feature of soil formation on silicate rocks is the creation of a soda medium, where anionic elements and complexing agents acquire mobility. Calcium and calcium-sodium classes are characteristic of autonomous and transit-accumulative landscapes with a deep groundwater level. The main mechanism for the selective differentiation of anionic elements is the mobilization of soils of autonomous landscapes in the alkaline soil environment. The main mechanism for the selective differentiation of anionic elements in the soils of subordinate landscapes of the small hills is the mobilization of autonomous landscapes in alkaline soil environment.

Hard rocks are found on the steep slopes of the hills, and the functions of weathering and primary soil creating fine earth are performed by lichens. Between gravelly-fine-earth soils due to the mineralization of plant residues, brown humus-rich fine earth lies. Petrophyte vegetation was presented in the study area, along with herbs, shrubs are widespread [8].

On the territory with gentle slopes, wormwood and grass vegetation are characteristic. There is more percent of fine earth, often contains an illuvial solonetzic horizon.

Vegetation plays an important role in the migration and accumulation of chemical elements. The plant of the calcium-sodium class is characterized by high ash content (10-40%) and, after mineralization, enrich the surface horizons of soils with alkaline (primarily Na) and alkaline-earth (Ca, Mg) elements that increase salinity and soil carbonation. In low mountains and small hills, the lateral migration of trace elements is weakly expressed. In supraqually-accumulative landscapes of intermountain salt marshes, the microelements participating in the evaporation concentration (Sr, B, Mo) can accumulate. Many geochemical features of salt accumulation are determined in the process of regional groundwater migratio [9].

Solonetzic (Na - OH) landscapes on the territory of the Nura River Basin occupy eluvial-accumulative positions, where brown-solonetzic, gray-brown solonetzic soils and solonetzcs, often saline soils, are formed under wormwood-saltwort communities. Soil salinization, residual or subaerial, biogenic salinization is important, especially with sodium salts, as in the ash of litter of shrubs (wormwood, saltwort), the sodium content reaches 7-10%.

The contrast of the radial geochemical differentiation of soils determines the alkalinity. Many chemical elements concentrate on sorption barriers (G3-G4), which are texture solonetzic horizons. Relict evaporation barriers (F3-F4) are typical in the lower part of the soil profile. The landscapes of the Nura River Basin are characterized by the following main types of geochemical barriers: evaporation - F-barrier, typical for the zonal type of soil and causes powerful secondary salinization, Na, K, Cs salts accumulate here, etc.; sorption - G - is formed at the contact points of aqueous solutions with natural sorbents, which are humic substances, hydroxides of iron and manganese [10].

From the moment of liquid atmospheric precipitation and from the intense flow of melt water, the chemical composition formation of the river water begins. It is enriched with soluble salts and organic substances in the process of water runoff along the surface of slopes and by contact with different soils and terrain over time. But the anthropogenic factor is currently the main factor in the formation of the chemical composition of surface waters. The most sensitive indicator of anthropogenic changes in the environment is natural water. Discharge of sewage and storm water from urban areas, flushing of fertilizers and pesticides from agricultural areas, dry and wet atmospheric precipitation to the surface of catchment areas are the main pollutants of natural waters. Water quality in the Nura River has seasonal dynamics: it sharply worsens during spring floods and in late autumn, after heavy rains, as a result of intensive washing out of humus from fields, residues of fertilizers and pesticides, as well as suspended solids. The main contribution to pollution and deterioration of water quality is made by discharges of insufficiently treated wastewater discharged from objects of various categories of water use -

industrial enterprises, utilities, etc. In addition to the above listed external factors, processes occurring directly in river waters have a significant impact on the hydrochemical parameters of the river (sedimentation, complex formation, oxidation or reduction of elements, etc.) [11].

Based on generally accepted methods, physico-chemical analysis of water samples (25 samples) for the content of individual pollutant ingredients in them was carried out in an accredited laboratory "KAZHYDROMET" in Karaganda. Physical and chemical analyzes of soil samples for the content of individual pollutant ingredients are made by the accredited testing laboratory "EcoNUS" in Karaganda.

A comparison of the results with the background values was carried out to assess the pollution of surface waters of the geosystems of the study area. When choosing key areas within the Karaganda-Temirtau industrial region to determine the extent of dispersion of the tested ingredients, water samples were taken at a frequency of 500 m before and after the point of sewage discharge.

**Table 2. Variational and statistical indicators of distribution of heavy metals in soils of Nura basin**

Parameters	$\bar{X} \pm \Delta x$	lim	<i>p</i>	$\sigma$	CV, %
	mg/kg				
Cu	884,44±8,8635	8,50-246,18	237,67	44,31	125,27
Zn	547,59±1,1699	9,02-41,35	32,33	5,84	26,70
Cd	8,91±0,0329	0,14-0,82	0,69	0,16	46,16
Pb	1550,10±8,9155	15,64-259,63	243,99	44,57	71,89

The average zinc content in the soils of the basin was 547,59±1,1699 mg/kg, with the limits range of 9,02-41,35 mg/kg. The minimum average content of gross zinc of 15,64 mg/kg is typical for chestnut soils in Taldyssay. Table 2 shows The deep penetration of humus is associated with the soil fracturing and, obviously, with its irrigation. The maximum zinc concentrations are characteristic of loamy soils in Karaganda. The average Cd content in the soils of the basin was 8,91±0,0329 mg/kg, the coefficient of variation was 46,16%. A correlation between the cadmium content and the pH of different soil types in most cases is absent. The effect of carbonates on the total cadmium content is clearly manifested in light chestnut solonetzic loamy soils ( $r = 0,60$ ). In the remaining types of soils, the relationship is low and often the opposite.

Studies have established that an excess of the MPC of gross lead concentration is characteristic for clay soils in Karaganda, an excess of MPC of gross copper content is also in Karaganda. For most soils, a significant high correlation was revealed between humus and gross forms of heavy metals. The content and distribution of gross lead in soils and the correlation dependence on the silt fraction, carbonates, and pH of the media in most cases are absent or have a weak strength relationship.

Thus, a significant heterogeneity in the content of chemical elements in the basin soils was revealed, which is due to the contrast of soil-forming rocks, the physicochemical properties of soils, landscape and geochemical conditions of migration and accumulation of elements.

Near the Karaganda-Temirtau industrial region, where the detected distribution of heavy metals is performed on the basis of a detailed landscape-geochemical analysis of the territories located in the zone of its influence. The industrial unit led to the transformation and complete destruction of natural geosystems and the emergence of specific artificially created territories. The natural components of such geosystems are in a state of constant dynamic change. The territory of industrial sites at the local level is the core of the concentration of technogenic geochemical anomalies, which creates favorable conditions for the interpenetration of polluting ingredients of natural environments. Migration cycles of the substances

transformation depend on the nature of the anomalies, ultimately, on the specifics of technogenesis. One of the main pollutants of the basin's water resources is industry. Its needs are met through the intake of fresh surface water (70,2% of the total intake) and underground sources (29,8%).

The industry of water complex is represented by enterprises of ferrous and non-ferrous metallurgy, coal industry, mechanical engineering and food processing industries, chemical industries.

The analysis of the current sectoral industrial structure of the Karaganda region shows that the main industrial potential is concentrated in the manufacturing sector, which accounts for almost 85% of the total output. The metallurgical industry is absolutely prevailing in the structure of the manufacturing industry of the region - almost 86% ("Mittal Steel Temirtau" and "Kazakhmys"). The indicated growth rates of the manufacturing industry of the region are directly related to the industrial and innovative development programs of these companies.

The area of the Karaganda-Temirtau industrial site occupies the most elevated part of the Kazakh small hills - Saryarka, which is a peculiar, very heterogeneous in geomorphological terms, highly elevated territory (absolute height 400-1000 m). The relief is complicated by shallow depressions, river valleys, dry channels of watercourses, hollows with coming up of groundwater to the surface, drainless hollows, lacustrine basins and steppe saucers. A characteristic feature of the territory is the outcrops of dense rocks in the form of rocks, rocky piles and placers, strongly dissected and chaotic in relief. The small hills were formed in the process of long continental development, which lasted from the middle of the Paleozoic to the present, due to the intense destruction and denudation of Precambrian, Paleozoic and later tectonic formations. Denudation processes turned mountains into low mountains, into vast ancient peneplains by insular mountain ranges composed of rocks most resistant to destruction. The Cenozoic-Mesozoic peneplain experienced repeated weak epeirogenic movements. Peneplain processes and, in part, neotectonic uplifts caused the emergence, as well as the revival of wide, aligned main watersheds of the region with low mountain massifs and small hills. The annual rainfall in the region varies from 130 mm or less to 310 mm or more. The climate of the region is sharply continental, dry. A high degree of continent is manifested in large annual and daily temperature amplitudes and in the instability of climatic indicators over time (from year to year). The average annual air temperature fluctuates throughout the region in the range of 1,4-7,3°C, and its highest values are typical for the most southern regions - deserts. Summer in this region is very hot, and it is sultry and long in the south. In the summer the air temperature sometimes rises to 40-48 ° C; the winter, on the contrary, is cold, frosts sometimes reach -40-45°C and even 50 °C. One of the main meteorological factors affecting the concentration and distribution of atmospheric pollution is the wind regime. The conditions of the relief determine the formation of an active wind regime in combination with synoptic conditions. The vastness of the region's territory and the complex relief cause significant differences in wind speed and direction.

When considering the influence of the main meteorological values on the level of atmospheric pollution, it was noted that the general atmospheric circulation regimes play an important role, and together with it the wind regime, solar radiation, temperature regime, air humidity and precipitation. The circulation conditions of the region atmosphere are formed under the influence of cyclonic activity, the dynamics of which are due to western transfer. Transformed three types of air masses, such as arctic, polar and tropical, enter the territory of the region under the study. All of them have their own characteristics of h air pollution level formation. In cyclonic weather, cloudy weather is formed, often with winds and precipitation [12]. This contributes to the dispersion, leaching of harmful substances from the atmosphere, respectively, reducing the concentration of atmospheric pollution. In the cold period, the western spur of the Asian anticyclone plays a significant role. Inversions are formed as a result

of cooling the earth's surface, with the merger of warm and cold fronts, that is, on the fronts of occlusion. The probability of their repetition in the cold period is 18%. Inversions form a kind of "ceiling" that prevents the rise and dispersion of relatively heated emissions from production sources. Surface inversions are more often formed at night, so at night there is an increase in impurity concentration by 0,5-0,7 times. In the afternoon, their dispersion occurs. The most powerful inversions occur during anticyclone weather in the winter, combined with strong night-time cooling. According to aerological observations, the thickness of such inversions is from 250 to 350 m, and the altitude varies in most cases from 500 to 1200 m. In light winds, emissions of low and fugitive emissions tend to accumulate in the surface layer. With significant winds (7-10 m/s) and the absence of inversion in the surface layer, impurities dissipate and reach the earth's surface a little. With strong winds at a speed of 12-15m/s and more, impurities are transported to considerable distances from sources.

According to the Department of Ecology, in the first six months of 2018, 305 thousand tons of harmful substances were already released into the atmosphere of the region. Last year, this indicator amounted to 598,7 thousand tons, which amounted to a quarter of all emissions (2357 thousand tons). The most significant contribution to air pollution is made by such large enterprises as "Kazakhmys Corporation" LLP, "Qarmed" JSC, "Central Asia Cement" JSC, "Carcement" JSC, "Orken Atasu" LLP, "Orken Kentobe" LLP, Kine Group "Kazmarganets", TNC "Kazchrome" JSC, "Karaganda Energy Center" LLP, "BapyMining" LLP, "TEMK" JSC.

In the city of Karaganda (landscape № 8), the level of air pollution was estimated as high and was determined by the values of SI = 10, NP = 38%. According to an automatic post on the 3rd stoker street, on October 25 a case of high pollution with suspended particles of RM 2,5 was recorded. The content of the harmful substance was 10,4 times higher than the MPC, which is associated with the mass kindling of furnaces at a low wind speed.

The average monthly concentrations of suspended particles of PM 2,5 were 2,8 MPC, phenol -2,0 MPC, suspended particles PM 10 -1,6 MPC, formaldehyde -1,3 MPC, nitrogen dioxide - 1,1 MPC, and concentrations of other pollutants did not exceed MPC. The maximum one-time concentrations of suspended particles of PM 2,5 amounted to 10,4 MPC, suspended particles of PM 10 - 5,8 MPC, hydrogen sulfide -3,9 MPC, carbon monoxide -2,7 MPC, ammonia - 2,0 MPC, suspended particles (dust) - 1,4 MPC, concentrations of other pollutants did not exceed MPC.

And in the town of Temirtau (landscape № 5), the level of air pollution was estimated as very high and was determined by the value of SI = 12. The average monthly concentrations of suspended particles (dust) amounted to 1,4 MPC, phenol - 2,4 MPC, ammonia - 1,5 MPC, the concentrations of other pollutants did not exceed MPC. The maximum single concentration of suspended particles (dust) was 3,0 MPC, sulfur dioxide - 5,7 MPC, carbon monoxide - 1,5 MPC, nitrogen dioxide - 1,6 MPC, nitric oxide - 1,6 MPC, hydrogen sulfide - 11,6 MPC, phenol - 2,3 MPC, ammonia - 1,2 MPC, concentrations of other polluting substances did not exceed maximum concentration limits. According to the study we conducted, we can distinguish the following facts:

1. The territory of the Nura River Basin refers to steppe and semi-desert landscapes with little biological information, weakened by water links, but with intense direct air links. Due to the combination of natural complexes, the territory of the Nura River Basin is characterized by a variety of geosystems types. The territory of the Nura River Basin belongs to the steppe and semi-desert landscapes. The zonal and subzonal differentiation of the main geosystems when moving from north to south occurs primarily due to climate changes (heat and moisture balance). The distribution of the basin geosystems is subject to the law of latitudinal zonality, which leads to a consistent change of landscapes. The water availability of geosystems confined to elevated plains depends solely on the mode of precipitation, that is, the automorphic conditions of humidification. Geosystems of the lowered plains sometimes have additional moisture, due to flooding or close occurrence of groundwater (hemi hydromorphic). Basin

geosystems have a combination of natural factors that enhance the pollution of geosystems. All this reduces centralization, orderliness and self-organization, stability of the landscape.

2. Economic activities carried out within the study basin, and, therefore, the key factors of anthropogenic modification of geosystems are industrial and agricultural activities: mining, hydro construction, grazing, as well as the expansion of residential areas and transport construction.

3. An assessment of the degree of the geosystem pollution was carried out, which allowed identifying the areas with a high degree of geosystems pollution, because of outrageous impact. The geosystems, where the metal processing complex (Karaganda-Temirtau industrial unit) dominates in the nature management structure, are characterized by a strong and very severe degree of pollution, where all its components are severely damaged.

## **Conclusion**

The proposed methodology for the degree assessment of anthropogenic stress on natural complexes most fully reflects the main factors of influence. Assessing the degree of anthropogenic load on geosystems is not the result of our research. The information obtained during the assessment of anthropogenic load on geosystems will be interpreted from the standpoint of applied geography to develop an optimal nature management structure taking into account indicators of the anthropogenic load degree on geosystems, the resistance of geosystems to anthropogenic impacts and the predicted trends in the dynamics of geosystems under conditions of anthropogenic influences. Moreover, it is believed that the optimal structure of nature management does not lead to negative consequences, does not reduce the environmental and resource-forming properties of geosystems, and, conversely, an imperfect nature management structure, formed without taking into account the landscape features of the territory, leads to disruption and degradation.

The results obtained can be used not only in determining measures of environmental rehabilitation of the study area, but also can serve as a model for improving geo-ecological research of geosystems oriented to solving problems of environmental management practice.

**Acknowledgement:** The sources of funding are the authors.

**Conflict of interests:** no conflict of interest.

**The contribution of the authors:** Conceptualization: Ospan G. and Zhanguzhina A.; methodology: Ozgeldinova Zh.; software Ospan G.; formal analysis Ozgeldinova Zh., Ospan G.; writing editing Ospan G. and Ozgeldinova Zh.

## **References**

1. Glazovskaya M.A. Geohimiya prirodnyh i tekhnogennyh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. (Moscow: High School, 1988, 312 p.) [in Russian].
2. Yang T., Chen W., Chen L., Liu W., Zhang D. CH<sub>4</sub> Reforming by CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Using Ni-M (M= Cu, Fe, Co, Mn, Zn, Cr) Bimetallic Aerogel Catalysts//Energy Technology, Springer, Cham. - 2016.-P. 173-180. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48182-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48182-1_20)
3. Atalay I., Efe R., Öztürk M. Ecology and Classification of Forests in Turkey// Procedia - Social and Behavioral Sciences.-2014.-Vol.120.-P.788-805. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.163>
4. Atalay I., Efe R. Ecological attributes and distribution of Anatolian black pine [Pinus nigra Arnold. subsp. pallasiana Lamb. Holmboe] in Turkey//Journal of Environmental Biology.-2010.-№33(2).-P.272-285.
5. Herman G.V., Ilieş D., Gaceu O., Ilieş A., Mester C., Ilieş M., Wendt J.A., Josan I., Baias S., Dumitru M. Some consideration concerning the quality of groundwater in the NATURA 2000 Lunca Barcaului

(Barcaului Meadow) site// Journal of Environmental Protection and Ecology. - 2019. - №20(3). - P. 1102-1109.

6. Mendybayev E.H., Atayeva G., Berdenov Z., Atasoy E. Geochemical researches of region soil with technogenic influence in terms of Borlinskiy region, West Kazakhstan//Oxid Commun.-2015.- №38(4).- P.1933-1941.

7. Borisenko I. Analiz dinamiki nakopleniya metallov v pochvah urbanizirovannoj territorii [Analysis of the metals accumulation dynamics in the soils of an urbanized area] Ekologo-geohimicheskij analiz tekhnicheskogo zagryazneniya, Moskva [Ecological and geochemical analysis of technical pollution, Moscow]. 104-115 (1997), [in Russian]

8. Berdenov Z.G., Mendybayev E.H., Atayeva G.M., Dzhanaleeva G.M. Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe agglomerations // Oxid Commun. - 2015. - № 38(2). - P.852-859. DOI:10.26577/JGEM.2015.2.251

9. Berdenov Z.G., Atasoy E., Mendybayev E.H., Ataeva G., Wendt J.A. Geosystems geological assessment of the basin of rivers for tourists valorization. Case study of Ilel river basin // GeoJournal of Tourism and Geosites. - 2016.- №2(18). - P. 187-195.

10. Ozgeldinova Z., Mukayev Z., Ramazanova N., Zhanguzhina A., Ulykpanova M. Spatial distribution of potentially toxic elements in soils and water bodies of the Kostanay region in Kazakhstan // Scottish Geographical Journal.-2024. - №140(1-2). - P.277-290.

11. Ramazanova N., Toksanbaeva S., Berdenov Z., Tursynova T., Zhakupov A. Analysis of the current state of recreational resources of the Nura River Basin, the republic of Kazakhstan // GeoJournal of Tourism and Geosites. - 2020.- №31(3). -P.1043-1048(2020). doi:10.30892/gtg.31316-539

12. Toksanbaeva S.T., Ramazanova, N.E., Tusupbekov, Z.A. Current state and prospects for the development of agricultural land in the Nura River basin// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. - №954(1). -doi:10.1088/1755-1315/954/1/012087

**Г.Т. Оспан<sup>1</sup>, Ж.О. Озгелдинова<sup>2</sup>, А.А. Жангужина<sup>3</sup>**

*<sup>1,2,3</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

### **Нұра өзені алабының ландшафттық-геохимиялық жағдайына антропогендік факторлардың әсерін талдау**

**Андатпа:** Мақалада антропогендік ландшафттардың қалыптасуын әртүрлі факторлардың, соның ішінде ластаушы заттар, радиоактивті заттар, сәулелену, шу және табиғи ресурстарды өндірудің әсерімен байланыстырып қарастырады. Табиғи ландшафттардың антропогендік ландшафттарға айналуы ғаламдық құбылысқа айналып, тау-кен өнеркәсібі, химия өнеркәсібі және ауыл шаруашылығы салаларындағы ғылыми-техникалық прогрестің арқасында жаңа сипатқа ие болуда. Зерттеу үшін негізгі аумақ ретінде Нұра өзенінің алабы таңдалды, мұнда Qarmet металлургиялық кешені орналасқан. Бұл кәсіпорын Қазақстандағы ең ірі тау-кен металлургиялық нысаны және полимерлі жабындысы бар металлдар мен өнеркәсіпке арналған шикізаттың кең ауқымын өндіреді.

Нұра өзенінің алабында өнеркәсіптік қызметтің геоэкологиялық әсерін бағалау мақсатында геохимиялық талдау жүргізілді. Су мен топырақ үлгілері жүйелі тәсілмен алынып, ластаушы заттардың мөлшері аккредиттелген зертханалардың сертификатталған әдістерімен анықталды. Алынған тәжірибелік деректер статистикалық әдістерді қолдану арқылы өңделіп, заңдылықтар анықталды.

Зерттеу барысында Нұра өзенінің алабы едәуір ластанғаны анықталды, бұл негізінен ауыр металдар мен басқа да ластаушы заттардан тұратын өнеркәсіптік қалдықтардың қалдықтарымен байланысты. Ластаушы заттардың жоғары концентрациясы «Qarmet» металлургиялық кәсіпорны және басқа да өнеркәсіптік нысандардың қызметімен байланысты екені анықталды. Табиғи ландшафттардың антропогендікке айналуы бұл процестердің қарқындылығымен тығыз байланысты екені анықталды.

Зерттеу нәтижелері Нұра өзені алабы ландшафттарының геохимиялық құрамына өнеркәсіптік процестердің елеулі әсер ететінін көрсетті. Алынған мәліметтер антропогендік әсерлерді азайту және аймақтың тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін өнеркәсіптік процестер



мен қалдықтарды тазарту жүйелерін жаңғырту арқылы экологиялық басқаруды жетілдіру қажеттілігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** ландшафт, антропогендік ландшафттар, қоршаған ортаның деградациясы, ластану, қоршаған орта.

**Г.Т. Оспан<sup>1</sup>, Ж.О. Озгелдинова<sup>2</sup>, А.А. Жангужина<sup>3</sup>**

*<sup>1,2,3</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

### **Анализ влияния антропогенных факторов на ландшафтно-геохимическое состояние бассейна реки Нура**

**Аннотация:** Данное исследование рассматривает формирование антропогенных ландшафтов под влиянием множества факторов, включая загрязняющие вещества, радиоактивные вещества, излучение, шум и добычу природных ресурсов. Превращение природных ландшафтов в антропогенные стало глобальным явлением, приобретая новые черты благодаря научно-техническому прогрессу в горнодобывающей промышленности, химической индустрии и сельском хозяйстве. В качестве ключевой территории для исследования выбран бассейн реки Нура, где доминирует металлургический комплекс Qarmet. Это предприятие является крупнейшим горно-металлургическим объектом Казахстана, производящим широкий ассортимент продукции, включая металлы с покрытием и сырье для промышленности.

В бассейне реки Нура был выполнен геохимический анализ с целью оценки геоэкологического влияния промышленной деятельности. Отбор проб воды и почвы осуществлялся по систематическому подходу, а содержание загрязняющих веществ определялось с применением методов, сертифицированных аккредитованными лабораториями. Полученные экспериментальные данные были обработаны с использованием статистических методов для выявления закономерностей и установления причинно-следственных связей.

Исследование выявило значительное загрязнение бассейна реки Нура, в основном обусловленное промышленными сбросами, содержащими тяжёлые металлы и другие загрязняющие вещества. Повышенные концентрации загрязнителей связаны с металлургической деятельностью «Qarmet» и других промышленных предприятий. Установлено, что трансформация природных ландшафтов в антропогенные тесно связана с интенсивностью данных процессов.

В исследовании подчёркивается критическое влияние промышленных процессов на геохимический состав ландшафтов бассейна реки Нура. Полученные результаты акцентируют необходимость улучшения экологического управления, включая модернизацию промышленных процессов и систем очистки отходов, для снижения антропогенных воздействий и обеспечения устойчивого развития региона.

**Ключевые слова:** ландшафт, антропогенные ландшафты, деградация окружающей среды, загрязнение, окружающая среда.

#### **Information about the authors:**

**Ospan G.T.** - Senior lecturer of the Department of Physical and Economic Geography of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6382-0511

**Ozgeldinova Zh.O.** - PhD, Professor of the Department of Physical and Economic Geography of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-6004-9066

**Zhanguzhina A.A.** - PhD, Department of Physical and Economic Geography of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-6856-1507

**Оспан Г.Т.** - старший преподаватель кафедры физической и экономической географии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица К. Мунайтпасова, 13, 010000, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0002-6382-0511

**Озгелдинова Ж.О.** - PhD, ассоциированный профессор кафедры физической и экономической географии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица К. Мунайтпасова, 13, 010000, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0001-6004-9066

**Жангужина А.А.** - PhD, и.о. доцента кафедры физической и экономической географии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица К. Мунайтпасова, 13, 010000, Астана, Казахстан.

ORCID 0000-0001-6856-1507



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).






ХҒТАР 314.15(574.4)

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-123-133>

Ғылыми мақала

## Шығыс Қазақстандағы сыртқы халық көші-қоны географиясындағы қазіргі үрдістер

Т.Т. Турсынова<sup>1</sup> , А.Ж. Ахметова<sup>2\*</sup> , И.В. Закиров<sup>3</sup> 

<sup>1,2</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup>Уфа ғылым және технологиялар университеті, Уфа, Ресей

(E-mail: <sup>1</sup>tangaltt@mail.ru, <sup>2</sup>Akhmetova01.bnl@gmail.com, <sup>3</sup>ziv7702@yandex.ru)

**Андатпа.** Бұл мақалада Шығыс Қазақстандағы көші-қон жағдайы географиялық аспектілерге сүйене отырып талданған. Зерттеу аймаққа халықтың келуі мен кетуі туралы 2004 жылдан 2022 жылға дейінгі көші-қон ағындары деректеріне негізделген. Мақалада көші-қон сальдосы жылдар бойынша қарастырылып, көші-қон ағындарының негізгі бағыттары және олардың үрдістері белгіленеді, сондай-ақ аймақтағы көші-қон үдерістеріне әсер ететін факторлар талданады. Ұсынылған қорытындылар Шығыс Қазақстандағы көші-қон үдерістерінің динамикасы мен ерекшеліктерін әлеуметтік-географиялық және демографиялық аспектілерді ескере отырып, тереңірек түсінуге мүмкіндік береді, бұл аймақтағы көші-қон үдерістерін басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеу үшін маңызды болып табылады. Ұсынылған нәтижелер сонымен қатар сыртқы және ішкі көші-қон ағындардың аймақтың әлеуметтік-экономикалық дамуына әсерін бағалауға мүмкіндік береді, бұл халықтың аумақтық ұйымдастырылу үдерістерін тереңірек түсінуге ықпал етеді.

**Түйін сөздер:** көші-қон, Шығыс Қазақстан, халықтың кетуі, көші-қон факторлары.

Түсті: 10.10.2024. Мақұлданды: 22.11.2024. Онлайн қолжетімді: 31.12.2024.

\* - автор-корреспондент

### Кіріспе

Қазақстан дүние жүзілік көші-қон үдерістерінің белсенді қатысушысы: ресми деректер бойынша, 2022 жыл бойынша, елге келгендер саны 17425 адамды, кеткендер саны 24147 адамды құрады. Көші-қон сальдосы 6722 адамды құрады [1].

Көші-қон үдерістері Қазақстанның демографиялық дамуында, әсіресе Шығыс Қазақстан сияқты, шекаралық аймақтар үшін айтарлықтай рөл атқарады. Ішкі көші-қон үдерістерін географиялық көзқарас тұрғысынан зерттеу, әсер етуші факторларды, айқындаушы көші қон бағыттары мен көші-қон толқындарының

көлемін айқындауға мүмкіндік береді, бұл халық көші қонының әлеуметтік және экономикалық аспектілерін басқаруға мүмкіндік береді. Шығыс Қазақстан аймағы, 1 миллионнан астам халық санымен, өз кезегінде, елдегі көші-қон сальдосы теріс көшбасшы облыстар қатарына кіреді [2].

Шығыс Қазақстан аймағы демографиялық өткел үстінде, бұл аймақтағы халық санының азаюына алып келуде, әсіресе бұл құбылыс ауылдық аймақтарда орын алуда. Көші-қон зерттеулеріндегі басты мәселелердің бірі – көші-қон ағындарының көлемін, құрылымын және бағыттарын анықтайтын факторларды талдау болып табылады. Бұл зерттеулердің теориялық және әдіснамалық негізін отандық және шетелдік ғалымдардың зерттеу әдістері мен нәтижелері құрайды.

Цайка М. және Рейнпрехт К. ұсынған адаптивті көші-қон теориясына сәйкес, климаттық және экологиялық өзгерістер аймақтың халықтық құрылымына әсер етеді, бұл жағдай халықтың көші-қон үдерістерін тереңдетеді. Мысалы, климаттық өзгерістер ауылдық аймақтарда тұратын халықтың көшуіне түрткі болуы мүмкін [3]. Г. Хансон және К. МакИнтош әзірлеген кросс-шекаралық экономикалық байланыстар моделі Шығыс Қазақстан аймағындағы көші-қон үдерістерінің экономикалық негізін түсіндіруге көмектеседі. Бұл модель арқылы, ауылдық аймақтардың экономикалық дамуы төмен болғандықтан, тұрғындардың Қазақстанның және ТМД-ның басқа аймақтарына көшуі түсіндіріледі [4]. Х. Де Хаас теориясы жаһандану мен жергілікті факторлардың интеграциясы арқылы Шығыс Қазақстандағы көші-қон динамикасын талдауға мүмкіндік береді. Бұл теория экономикалық өзгерістер мен мемлекеттік саясаттың әсерін қарастыра отырып, халықтың көші-қон шешімдерін анықтайды [5]. А. Портес және Р. Рамбаут ұсынған әлеуметтік интеграция теориясы шеңберінде, мигранттардың әлеуметтік құрылымға қосылу үдерісі зерттеледі. Бұл фактор Шығыс Қазақстандағы көші-қон үдерістеріне ықпал ететін әлеуметтік желілер мен байланыстардың рөлін айқындауға көмектеседі [6]. Ж. Родриг және Т. Нотебум ұсынған географиялық модель, ішкі көші-қонның экономикалық теңсіздігін Шығыс Қазақстандағы ауыл мен қала арасындағы көші-қон ағындарының себептерін түсіндіруге мүмкіндік береді. Экономикалық айырмашылықтар, тұрғындардың ірі қалаларға және елдің орталық аймақтарына көшуіне алып келуде [7]. Ж. Бонгаартс және Т. Соботка ұсынған көші-қон үдерістерінің тұрақтылық теориясы көші-қонның демографиялық және экономикалық өзгерістерге жауап беру қабілетін зерттейді. Шығыс Қазақстандағы көші-қонның дамуы, экономикалық көрсеткіштер мен халықтың құрылымындағы өзгерістермен тығыз байланысты [8].

Осылайша, қазіргі заманғы теориялар мен модельдер, мысалы, адаптивті көші-қон теориясы, кросс-шекаралық экономикалық байланыстар моделі, жаһандану мен жергілікті факторлардың интеграциясы, әлеуметтік интеграция, экономикалық теңсіздік моделі және көші-қон үдерістерінің тұрақтылығы, Шығыс Қазақстандағы көші-қон үдерістерінің себептері мен сипатын тереңірек түсінуге көмектеседі. Бұл теорияларды қолдану халық көші-қонын демографиялық, экономикалық және әлеуметтік факторлардың аймақ тұрғындарының қозғалысына әсерін ашып, әр түрлі қырынан талдауға мүмкіндік береді.

## Материалдар мен әдістер

Зерттеу Шығыс Қазақстан облысындағы көші-қон үдерістерін талдауға бағытталып, негізгі материал ретінде Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының 2004–2022 жылдар аралығындағы деректері, аймақтық есептер мен мемлекеттік органдар ұсынған мәліметтер пайдаланылды. Көші-қон үдерісін түсіндіру үшін Халықаралық көші-қон ұйымы (ХКҰ) берген анықтама негізге алынды,

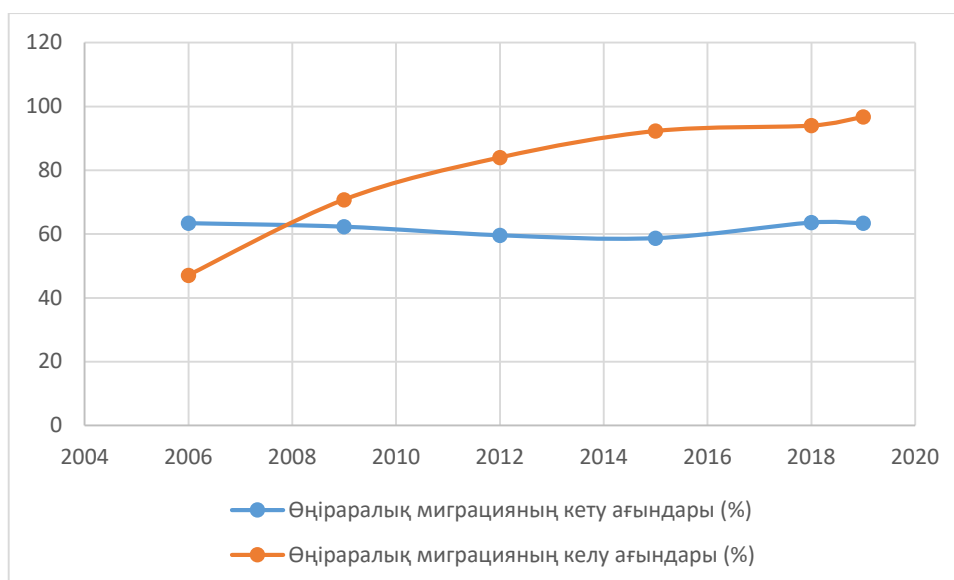
оған сәйкес көші-қон адамдардың тұрақты немесе уақытша тұрғылықты жерін ауыстыру арқылы белгілі бір аумақтардың шекарасын кесіп өтуін білдіреді. 1990-шы жылдардағы көші-қон үдерістерінің күрделілігіне қарамастан, дағдарыс кезінде ғылымды қаржыландырудың жеткіліксіз болуына байланысты Қазақстанда көшіқонды жүйелі зерттеу жүргізілмегенін атап өткен жөн. Көші-қон мәселелері негізінен этносаяси, 6 Шығыс Қазақстанның демографиялық ахуалына ықпал етуші факторлар этнодемографиялық және тарихи аспектілерде зерттелді [9].

Материалдар сандық және сапалық тұрғыдан өңделіп, көші-қонның негізгі бағыттары мен үрдістері анықталды. Зерттеуде жүйелік және проблемалық тәсілдер қолданылып, көші-қонның әлеуметтік-экономикалық және демографиялық салдары кешенді қарастырылды. Сонымен қатар, статистикалық әдістер мәліметтерді талдау үшін, мазмұнды талдау әдісі көші-қонның себептері мен салдарын анықтау үшін, ал картографиялық әдістер көші-қон бағыттарын визуализациялау үшін қолданылды. Зерттеу кезеңдері мәліметтерді жинау және өңдеуден бастап, аймақтық ерекшеліктерді анықтау, нәтижелерді картографиялық визуализациялау және қорытындылар әзірлеуге дейінгі жұмыстарды қамтыды.

### **Нәтижелер мен талқылау**

2004 жылдан 2022 жылға дейінгі кезеңде Шығыс Қазақстан облысының көші-қон үрдістері сапалық және сандық тұрғыдан елеулі өзгерістерге ұшырады. 90-жылдары көші-қон процестері қарқынды жүріп, эмигранттар санының жоғары болуымен ерекшеленген кезең 2000 жылдардың ортасына қарай салыстырмалы түрде тұрақты кезеңге орын берді. Мұндай өзгерістер елде болған саяси және экономикалық реформалармен қатар, Қазақстан Республикасының Мемлекеттік демографиялық саясатын сәтті іске асыруымен де байланысты. Бұл өзгерістер оралмандарды оңтайлы түрде орналастыру, еңбек ресурстарын тарту және басқа да мемлекеттік аймақтық даму бағдарламаларының нәтижесінде жүзеге асырылды.

Қазақстанның физикалық-географиялық және экономикалық-географиялық ерекшеліктері өңіраралық көші-қонға айтарлықтай ықпал етеді. Климаттық жағдайлар, әлеуметтік-экономикалық даму перспективалары және әлеуметтік-мәдени жағдайлар халықтың көші-қон қозғалысының негізгі географиялық факторлары болып табылады. Шығыс Қазақстан облысында кіріс және шығыс ағындарының арасында өңіраралық көші-қон ерекше рөл атқарады, бұл ретте облыс елден тыс жерлерге халық жоғалтуды тұрақты түрде (жылына 3-4 мың адам) көрсетуде. Облысқа көшіп келушілер негізінен Павлодар және Қарағанды облыстарынан, ал соңғы жылдары – мемлекеттік бағдарлама арқасында – Алматы, Түркістан, Жамбыл және Қызылорда облыстарынан келеді. Сонымен бірге, аймақтан ел ішіндегі негізгі ағын Астана және Алматы қалаларына бағытталған (2022 жылы теріс сальдо 4,5 мың адам). Өңіраралық көші-қон Шығыс Қазақстан облысының адами әлеуетінің сапасына кері әсер етуде, өйткені ең белсенді және білікті, еңбекке қабілетті тұрғындар басқа аймақтарға кетуде.



**Сурет 1. Шығыс Қазақстан облысына кету және келу ағындарының үлесі (%)**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [10]

Сызбада сыртқы және өңіраралық көші-қон ағындарының барлық кетулер мен келулердің 2006-2019 жылдардағы үлесін есептеу нәтижелері көрсетілген. Осы кезең ішінде келушілер ағынындағы аймақаралық көші-қон басым болды және соңғы бес жылда 90% -дан асты. Қарама-қарсы ағымда, 2000 жылдардың басында аймақаралық көші-қон үлесі 20% -ға жетіп, нәтижесінде оның үлесі шамамен 3 есе өсті [10].

Шығыс Қазақстан облысының аймақаралық көші-қон сальдосы тұрақты теріс мәнмен сипатталады. Сонымен, 2009-2019 жж. Он жылдық мерзімге бұл көрсеткіш 2013 және 2015 жылдары тек екі рет. нөлден жоғары болды (1-сурет).

2000-2021 жылдардағы Шығыс Қазақстан облысының халық саны динамикасының талдауы, бірнеше маңызды үрдістерді көрсетті. Біріншіден, ауылдық аймақтар айтарлықтай халық санын жоғалтты, бұл осы аймақтардағы экономикалық және әлеуметтік инфроқұрылымның жағдайын көрсетеді. Сараланған жылдардың көбінде, ауылдық аймақтардан халықтың 50%-дан көбі, кей жылдары 100%-дан астамы көшіп кетті. Аталған құбылыс осы аймақтардағы халық үшін орын алған, жұмыспен қамтылу және әлеуметтік қызметтердің қол жетімділігі сияқты күрделі қатерлерді көрсетеді.

Екіншіден, Өскемен және Семей қалалық аудандарында да халық санының теріс динамикасы байқалады, бірақ, кейбір жылдары оң өзгерістер байқалады. Мысалы, Өскемен қаласында 2010 және 2015 жылдарда халықтың өсімі байқалады. Бұл өзгерістер өңірге қоныстанушыларды тарту бағдарламаларын жүзеге асыру және қалалық инфроқұрылымның дамуымен байланыстыруға болады.

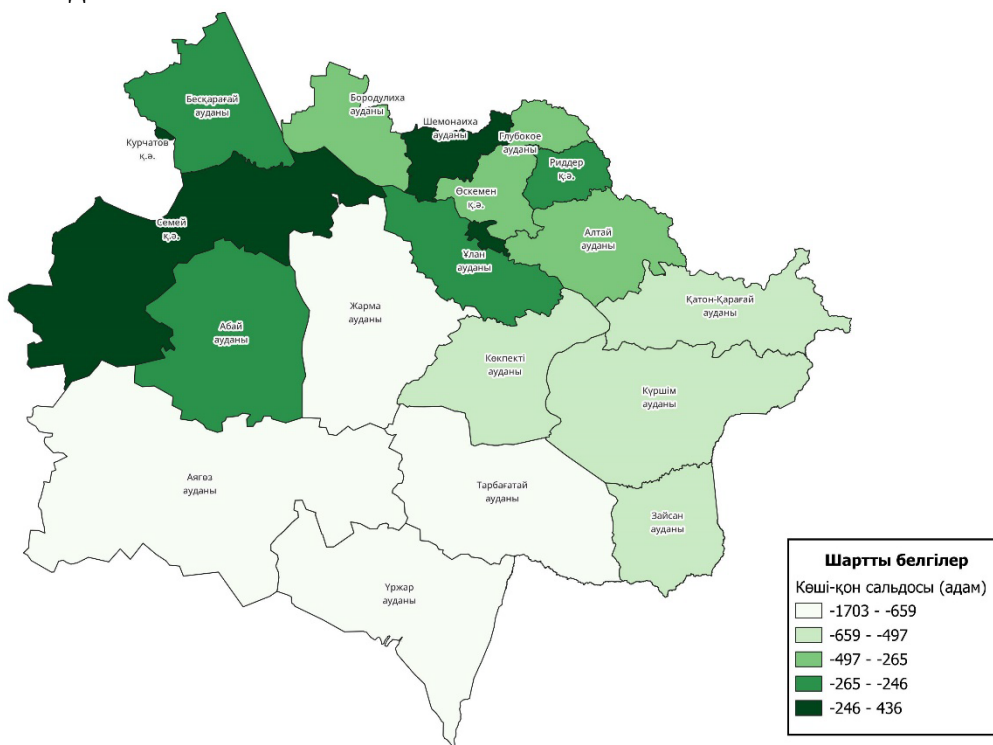
Шығыс Қазақстан облысы халықтың сыртқы көші-қоны сальдосы бойынша деректерге сәйкес, өзгерістер әр түрлі жылдарда болған. Максималды теріс сыртқы көші-қон сальдосы 2021 жылы тіркелген, 6 515 адамды құрап, зерттеу кезеңіндегі ең төменгі көрсеткіштен, 2009 жылы болған 460 адамнан 3 173 адамға немесе 94,2%-ға асып түсті (2-сурет).

Шығыс Қазақстанға келгендер бойынша деректерді саралау, ауқымды өзгерістер әр түрлі жылдарда болғанын көрсетті. Максималды келгендер саны 2009 жылы 12,329 адамды құрады, бұл 2000 жылы тіркелген 7,860 адамнан 4,469 адамға, немесе 56.9%-ға көп.



Шығыс Қазақстан облысынан 2000-2021 жылдар аралығында кеткендер бойынша деректердің талдауы бірнеше маңызды үрдісті көрсетті. Біріншіден, әр жылдарда кеткен адамдар санының айтарлықтай өзгеру динамикасы байқалады. Әсіресе, 2002 жылы және 2019 жылдан 2021 жылға дейін.

Сонымен қатар, қала және ауыл тұрғындары арасындағы, және облыстың жеке аудандары арасындағы айырмашылықтарын байқауға болады. Мысалы, кейбір аудандарда кеткендер санының тұрақты төмендеуі байқалса, кейбірінде тұрақты өсім көрсетеді.



**Сурет 2. ШҚО көші-қон сальдосы (2021 ж.)**  
Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [10]

2004 жылдан 2022 жылға дейінгі маңызды елдер мен жылдар бойынша Шығыс Қазақстан облысына келгендердің пайыздық арақатынасын талдай отырып, мынадай қорытынды жасауға болады:

- Ресей көптеген жылдары мигранттардың жалпы санының 60%-дан астамын құрап, негізгі көші-қон көзі болып қала береді, 2004 жылы Ресейден келген мигранттар үлесі шамамен 86%-ды құраған кезде ең жоғары көрсеткішке жетті;
- ТМД елдері де айтарлықтай рөл атқарады, бірақ олардың үлесі 2014 жылдан бастап біртіндеп төмендеп, шамамен 33%-дан 2022 жылға қарай 10%-дан аз деңгейге түсті;



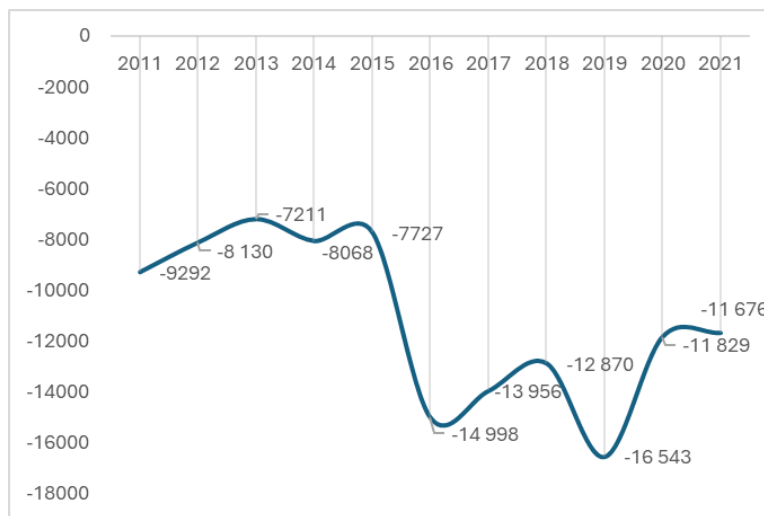
**Сурет 3. ШҚО-на қоныстанған қандастар саны (2018-2022 жж.)**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [10]

- Қырғызстан мен Өзбекстаннан келген мигранттардың легі 2000 жылдардың басында шарықтау шегіне жетті, бірақ уақыт өте келе олардың үлесі соңғы жылдары 5%-дан төмен деңгейге дейін азайды (3-сурет) ;

- Моңғолия мен Қытайдан келген мигранттардың үлесі салыстырмалы түрде елеусіз болып қала береді, бірақ 2022 жылға қарай кейбір өсім байқалады;

- Басқа елдер мигранттардың жалпы санының өзгермелі үлесіне ие, бірақ олардың жалпы үлесі уақыт өте келе де азайып келеді (4-сурет);



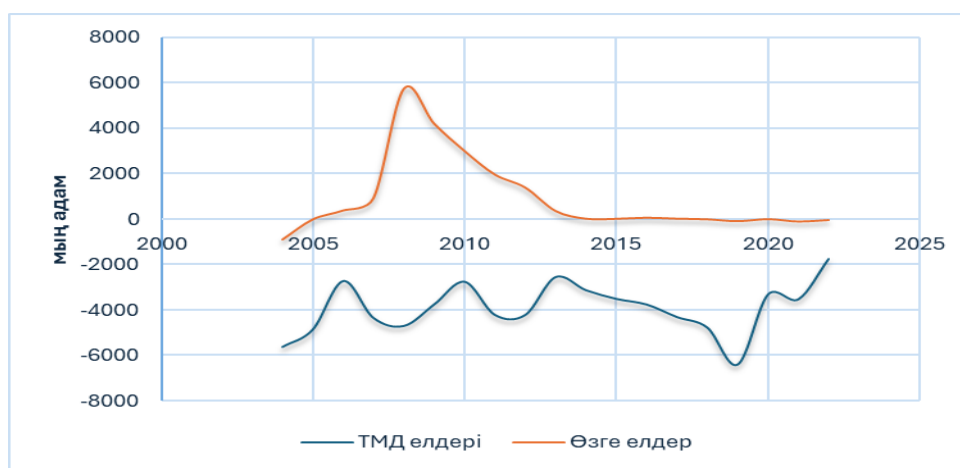
**Сурет 4. ШҚО жалпы көші-қон сальдосы**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [10]

Жалпы алғанда, Ресей Шығыс Қазақстан облысына көші-қонның негізгі доноры болып қала береді, ал басқа елдерден келген мигранттардың үлесі біртіндеп азайып жатыр.

2004 жылдан 2022 жылға дейін Шығыс Қазақстан облысынан кетіп қалғандардың шығу елдері бойынша пайыздық арақатынасын талдай отырып, келесіні атап өтуге болады:

- Ресейге кеткендердің үлесі 2004 жылдан 2022 жылға дейін төмендеді, көптеген жылдары жалпы кеткендердің шамамен 30%-дан 50%-ға дейінгісін құрады;
- ТМД елдерінің жалпы кеткендер санындағы үлесі де осы кезеңде азайып, 15%-дан 45%-ға дейін өзгерді (5-сурет);
- Украина жалпы кеткендер саны бойынша өзгермелі үлеске ие болды, 2007 және 2008 жылдары оның үлесі шамамен 5%-ды құраған кезде ең жоғары көрсеткішке жетті;
- АҚШ, кеткендердің аз үлесіне ие болғанымен, көптеген жылдары тұрақты үлесті сақтап, жалпы кеткендердің шамамен 0,5-1%-ын құрады;



**Сурет 5. ШҚО елдер бойынша сыртқы көші-қон сальдосы**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [10]

- Басқа елдерге кеткендердің үлесі елеусіз болып қалды, бірақ 2022 жылға қарай олардың шамалы өсуі байқалып, жалпы кеткендердің шамамен 3%-ын құрады [10].

Осылайша, 2000-2022 жылдар аралығында Шығыс Қазақстан облысының сыртқы көші қон сальдосы ауытқуларды көрсетеді. Облысқа келгендердің санының елеулі ауытқуы және аймақтан кеткендердің айтарлықтай өсуі байқалады, сондай-ақ ауытқуларға қарамастан, Ресей мен ТМД елдеріне көші-қон сияқты кейбір көші-қонлық бағыттар тұрақты болып қала береді.

Қазақстан халқының аумақтық қоныстану көрінісі негізінде өңіраралық көші-қон елдің физикалық-географиялық және экономикалық-географиялық ерекшеліктерінің күшті ықпалы болуда. Климаттық жағдайлар, аумақтардың әлеуметтік-экономикалық дамуының болашағы, әлеуметтік-мәдени жағдайлар халықтың көші-қонының негізгі географиялық факторлары болып табылады.

## Қорытынды

Қазіргі таңда Қазақстан Республикасы мен оның әр өңірі үшін халықтың көші-қон алмасу процестері стратегиялық маңызға ие болып отыр. Өкінішке орай, елдің шығыс аймақтарында, соның ішінде Шығыс Қазақстан облысында да, теріс көші-қон халық санының табиғи азаюымен бірге тұрақты төмендеу факторына айналды. Шығыс Қазақстан облысы негізінен көші-қон доноры ретінде әрекет етеді, және аймақтағы көші-қонның жоғары деңгейі әлеуметтік-экономикалық дамудың жеткіліксіздігіне байланысты. Бұл жағдай көші-қон мәселесінің маңыздылығын арттырып отыр.

Зерттеу нәтижелері негізінде төмендегідей қорытынды жасауға болады:

- аймақта халықтың басқа өңірлерге кетуінің негізгі себебі - экономиканың тұрақсыздығы мен қанағаттанарлықсыз жағдайы;

- 2004-2005 жылдары әлеуметтік-экономикалық жағдайдың жақсаруы көші-қон деңгейінің төмендеуіне ықпал етті: 2003 жылғы 7,9 мың адамнан 2005 жылы 1,2 мың адамға дейін азайды. Дегенмен, көші-қонның негізгі теріс факторлары әлі де жойылмаған. Қазақстанның басқа аймақтарымен салыстырғанда, Шығыс Қазақстанның әлеуметтік-экономикалық жағдайының айырмашылығы көші-қонның бағыты мен сипатын анықтауда басты рөл атқарады;

- әлеуметтік-экономикалық себептермен қатар, «кедейліктен қашу» секілді әлеуметтік-психологиялық әсерлер де халықтың аймақтан көшуіне ықпал етуде. Басқа ерекше факторлар айқын емес;

- көші-қон жағдайын тұрақтандыру үшін мемлекеттік және жергілікті өзін-өзі басқару органдарының бірлескен жұмысы маңызды. Көші-қон саясаты аумақтың ерекшеліктерін, соның ішінде географиялық, этнодемографиялық, экономикалық және мәдени факторларды ескеріп, көші-қон мәселелерін шешуге бағытталуы қажет.

Осылайша, 2000-2021 жылдар аралығында Шығыс Қазақстан облысының сыртқы көші қон сальдосы ауытқуларды көрсетеді, облысқа келгендердің санының елеулі ауытқуы және аймақтан кеткендердің айтарлықтай өсуі байқалады, сондай-ақ ауытқуларға қарамастан, Ресей мен ТМД елдеріне көші-қон сияқты кейбір көші-қондық бағыттар тұрақты болып қала береді .

Қазақстан халқының аумақтық қоныстану көрінісі негізінде өңіраралық көші-қон елдің физикалық-географиялық және экономикалық-географиялық ерекшеліктерінің күшті ықпалы болуда. Климаттық жағдайлар, аумақтардың әлеуметтік-экономикалық дамуының болашағы, әлеуметтік-мәдени жағдайлар халықтың көші-қонының негізгі географиялық факторлары болып табылады [11].

**Қаржыландыру:** авторлар есебінен.

**Мүдделер қақтығысы:** жоқ.

**Авторлардың қосқан үлесі:** Концептуализация – Т.Т. Турсынова; әдістемесі – И.В. Закиров, түпнұсқа жобасын дайындау – А.Ж. Ахметова. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып, келісті.

## Әдебиеттер тізімі

1. Ұлттық статистика бюросы Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі [Электрон. ресурс] - URL: <http://stat.gov.kz> (өтініш берген күні: 10.09.2024).

2. Шығыс Қазақстан облысы әкімдігінің сайты [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/akimvko> (өтініш берген күні 10.09.2024).

3. Czaika M., Reinprecht C. Migration and Adaptation: Measuring the Mobility Consequences of Climate Change // Nature Climate Change. -2022. - V.10., №10. - P. 920-927. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92377-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92377-8_3)

4. Hanson G.H., McIntosh C. Is the Mediterranean the New Rio Grande? U.S. and E.U. Immigration Pressures in the Long Run//Journal of Economic Perspectives. - 2016. - V.30, №4 - P. 57-82. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.30.4.57>

5. De Haas H. The Age of Migration: International Population Movements in the Modern World//*Ethnic and Racial Studies*. - 2015. - V.38., №13. - P.23-55. DOI: <https://doi.org/10.1080/01419870.2015.1050048>

6. Portes A., Rumbaut R. Immigrant America: A Portrait. - University of California Press. - 2014. - 119 p.

7. Rodrigue J.-P., Notteboom T. The Geography of Transport Systems. - Routledge.- 2024. – 402 p.

8. Bongaarts J., Sobotka T. A Demographic Explanation for the Recent Rise in European Fertility//Population and Development Review. - 2012. - V.38, №1. - P.83-120. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2012.00473.x>

9. Алексеенко А.Н. Демографические кризисы в Казахстане. XX век. – Усть-Каменогорск: Медиа-Альянс, 2007. – 96 с.

10. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросының Шығыс Қазақстан облысы бойынша департаменті [Электрон. ресурс]. URL: <https://stat.gov.kz/region/vko> (өтініш берген күні 10.09.2024).

11. Шыңғысбаева Ш., Саипов А. Тәуелсіздік жылдарындағы Шығыс Қазақстандағы демографиялық ахуалдың қалыптасуына әсер ететін көші-қон үрдістерінің географиялық бағыттары//КазҰУ хабаршысы. География сериясы. - 2021. - №2. - Б.29-38. DOI: <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v64.i1.01>

**Т.Т. Турсынова<sup>1</sup>, А.Ж. Ахметова<sup>2</sup>, И.В. Закиров<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>3</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

### **Современные тенденции географии внешней миграции населения Восточного Казахстана**

**Аннотация.** Данная статья представляет собой анализ миграционной ситуации в Восточном Казахстане с учетом географических аспектов. Исследование основано на данных о миграционных потоках, включающих прибытие и выбытие населения из региона в период с 2004 по 2022 год. В статье рассматривается общее сальдо миграции по годам, выделяются основные направления географии миграционных потоков и их тенденции, а также анализируются факторы, влияющие на миграционные процессы в регионе. Представленные выводы позволяют лучше понять динамику и особенности миграционных процессов в Восточном Казахстане с учетом социально-экономических и демографических аспектов, что является важным для разработки эффективных стратегий управления миграционными процессами в разработке региональной социальной политики. Представленные результаты также позволяют оценить влияние внешних и внутренних миграционных потоков на социально-экономическое развитие региона, что способствует более глубокому пониманию процессов территориальной организации населения.

**Ключевые слова:** миграция, Восточный Казахстан, отток населения, факторы миграции.

**T.T. Tursynova<sup>1</sup>, A.Zh. Akhmetova<sup>2</sup>, I.V. Zakirov<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

### **Current Trends in the Geography of External Migration in Eastern Kazakhstan**

**Abstract.** This article presents an analysis of the migration situation in Eastern Kazakhstan, considering geographical aspects. The study is based on data on migration flows, including arrivals and departures of the population from the region from 2004 to 2022. The article examines the overall migration balance by year, highlights the main directions of migration flows and their trends, and analyzes the factors influencing migration processes in the region. The presented conclusions contribute to a better understanding of the dynamics and peculiarities of migration processes in Eastern Kazakhstan, taking into account socio-economical and demographic aspects, which is important for the development of effective migration management strategies and social policies in the region. The presented results also allow for an assessment of the impact of external and internal migration flows on the socio-economic development of the region, contributing to a deeper understanding of the processes of territorial organization of the population.

**Keywords:** migration, Eastern Kazakhstan, population outflow, migration factors.



## References

1. Ulttyq statistika byurosy Qazaqstan Respublikasynyn Strategiyalyq josparlau zhane reformalar agenttigi [National Bureau of Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of 1 Kazakhstan] - Available at: <http://stat.gov.kz> (: 10.09.2024).
2. Shygys Qazaqstan oblysy akimidiginin saity [Website of the Akimat of East Kazakhstan Region]. Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/akimvko> (accessed : 10.09.2024).
3. Czaika M., Reinprecht C. Migration and Adaptation: Measuring the Mobility Consequences of Climate Change // Nature Climate Change. -2022. - V.10., №10. - P. 920-927. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92377-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92377-8_3)
4. Hanson G.H., McIntosh C. Is the Mediterranean the New Rio Grande? U.S. and E.U. Immigration Pressures in the Long Run // Journal of Economic Perspectives. - 2016. - V.30, №4 - P. 57-82. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.30.4.57>
5. De Haas H. The Age of Migration: International Population Movements in the Modern World// *Ethnic and Racial Studies*. - 2015. - V.38., №13. - P. 23-55. DOI: <https://doi.org/10.1080/01419870.2015.1050048>
6. Portes A., Rumbaut R. Immigrant America: A Portrait. - University of California Press. - 2014. - 119 p.
7. Rodrigue J.-P., Notteboom T. The Geography of Transport Systems. - Routledge.- 2024. - 402 p.
8. Bongaarts J., Sobotka T. A Demographic Explanation for the Recent Rise in European Fertility//Population and Development Review. - 2012. - V.38, №1. - P.83-120. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2012.00473.x>
9. Qazaqstan Respublikasynyn Strategiyalyq josparlau zhane reformalar agenttigi Ulttyq statistika byurosynyn Shygys Qazaqstan oblysy boyynsha departamenti [National Bureau of Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, Department for East Kazakhstan Region]. Available at: <https://stat.gov.kz/region/vko> (accessed 10.09.2024).
10. Alekseenko A.N. Demografizieskie krisisi v Kazahstane. XX vek. [Demographic crises in Kazakhstan. XX century.] // -Ust-Kamenogorsk: Media Alliance.-2007. - 96 p.
11. Shyngysbaeva Sh., Saipov A. Tauelsizdik zhyldarynda Shygys Qazaqstandagy demografiyalyq ahualdyn qalyptasuyna aser etetin koshi-qon yrdisteriniñ geografiyalyq baryttary [Geographic Directions of Migration Processes Influencing the Formation of the Demographic Situation in East Kazakhstan during the Years of Independence]//KazUU habarshysy. Geografiya seriyasy. - 2021. - №2. - P. 29-38. DOI: [https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v64.i1.01 \[in Kazakh\]](https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v64.i1.01 [in Kazakh])

## Авторлар туралы мәлімет:

**Турсынова Т.Т.** – ғылыми жетекші, педагогика ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доценті міндетін атқарушы, Александр Пушкин көшесі, 11, 020000, Астана, Қазақстан

ORCID 0000-0003-4403-6737

**Ахметова А.Ж.** – хат-хабар авторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 2 курс докторанты, Александр Пушкин көшесі, 11, 020000, Астана, Қазақстан

ORCID 0009-0001-1959-3737

**Закиров И.В.** – доцент, география ғылымдарының кандидаты, Уфа Ғылым және технологиялар университетінің Табиғат және адам институтының туризм, георбанистика және экономикалық география кафедрасының меңгерушісі, Степан Кувыкин көшесі, 94, 450106, Уфа, Башқортостан Республикасы, Ресей.

ORCID 0000-0001-7199-8064



**Tursynova T.T.** – Scientific Supervisor, Candidate of Pedagogical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Alexander Pushkin Street, 11, 020000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0003-4403-6737

**Akmetova A.Zh.** – Corresponding Author, 2nd-year Doctoral Student at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Alexander Pushkin Street, 11, 020000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0009-0001-1959-3737

**Zakirov I.V.** – Associate Professor, Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Tourism, Geourbanistics, and Economic Geography at the Institute of Nature and Human, Ufa University of Science and Technology, Stepan Kuvykin Street, 94, 450106, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

ORCID 0000-0001-7199-8064



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ХҒТАР 38.31.25

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-134-147>

Ғылыми мақала

## Қиын-Керіш флорасы негізінде ерте олигоцен климатының реконструкциясын жасауда Coexistence Approach әдісін қолдану

Ш.Б. Ақмағамбет <sup>1\*</sup> , А.Қ. Жаманғара <sup>2</sup> , С.А. Нигматова <sup>3</sup> ,

Ж.А. Адамжанова<sup>4</sup> 

<sup>1,2,4</sup> Астана Халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup> Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

(E-mail: <sup>1</sup>ashakhizada@gmail.com, <sup>2</sup>kashagankizi@mail.ru, <sup>3</sup>nigmatova@mail.ru,  
<sup>4</sup>adamzhanova@mail.ru)

**Аңдатпа.** Бұл зерттеу Шығыс Қазақстандағы Қиын-Керіш аймағындағы «Кораблик» қимасының ерте олигоцен дәуіріндегі флорасына негізделген палеоклиматтық реконструкцияға арналған. Зерттеудің мақсаты – Coexistence Approach (CA) әдісін қолданып, сол кезеңдегі климаттық жағдайларды анықтап, аймақтық экологиялық өзгерістердің өсімдік жамылғысына әсерін бағалау. Нәтижелер аймақта ерте олигоценде жылы және ылғалды климат басым болғанын және бұл жағдайлардың флора құрамындағы түрлі таксондар арқылы көрініс тапқанын көрсетті. Жұмыстың ғылыми маңызы – аймақтың климаттық тарихы туралы деректерді байытуында, ал практикалық маңызы – осы реконструкция әдісін Қазақстанның басқа қималарын зерттеуге қолдану мүмкіндігін қамтамасыз ету.

**Түйін сөздер:** ерте олигоцен, Қиын-Керіш, палеоклиматтық реконструкция, Coexistence Approach, өсімдік қалдықтары, климаттық өзгерістер, палеофлористикалық талдау.

Түсті: 16.10.2024. Мақұлданды: 22.11.2024. Онлайн қолжетімді: 31.12.2024.

\* - автор-корреспондент

### Кіріспе

Палеоклиматты реконструкциялау – палеоботаникалық зерттеулердің маңызды аспектісі, өйткені ол өткен дәуірдегі климаттық өзгерістер мен олардың өсімдіктер және экожүйелерге әсерін түсінуге мүмкіндік береді. Осындай зерттеулердің ерекше объектілерінің бірі – Шығыс Қазақстанның Зайсан ойпатында орналасқан Қиын-Керіш шатқалы (Сурет 1). Алматы қаласынан солтүстік-шығысқа қарай 800 км және Зайсан қаласынан оңтүстікке қарай 120 км қашықтықта орналасқан бұл аймақ ерекше геологиялық және палеонтологиялық қасиеттерімен ерекшеленеді, сондықтан ғылыми зерттеулер үшін аса құнды. Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы аймақтың ежелгі климаттық жағдайлары мен экожүйелерін түсінуге мүмкіндік беретін бай өсімдік қалдықтарымен белгілі. Ерте олигоцен

дәуіріне жататын бұл қима, өзінің флорасының алуан түрлілігі арқылы, сол кезеңнің экологиялық және климаттық жағдайларын реконструкциялауға айрықша мүмкіндік береді [1, 4].



Сурет 1. Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы аймағының зерттеу орнының картасы [21]

Зерттеу объектісі ретінде «Кораблик» қимасы аймақтың флоралық және климаттық тарихын зерттеу үшін баға жетпес дерек көзі болып табылады. Қиын-Керіш флорасы Орталық Азияның экожүйелері мен климаттық өзгерістерінің қалай дамығанын айқындайтын мәліметтерді ұсынады, себебі бұл флора эоцен дәуірінің субтропикалық ормандары мен кеш олигоценнің қоңыржай орман экожүйелері арасындағы өтпелі кезеңді сипаттайды [5, 6]. Осы зерттеуде Coexistence Approach (CA) әдісі қолданылды, бұл әдіс флоралық қалдықтарды олардың қазіргі аналогтарымен салыстырып, ежелгі климатты дәлірек реконструкциялауға мүмкіндік береді [3, 15]. Қиын-Керіш флорасынан табылған өсімдіктердің қазіргі аналогтарын анықтай отырып, олардың климаттық диапазондарын зерттеу арқылы эволюциялық өзгерістердің климаттық жағдайларға қалай бейімделгенін түсінуге болады.

Зерттеудің мақсаты – Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасының ерте олигоцен кезеңіндегі климаттық жағдайларын Coexistence Approach әдісі арқылы реконструкциялау. Бұл зерттеу аймақтың климаттық динамикасын және өсімдік жамылғысының сол кезеңдегі эволюциялық процестерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді [1].

## Әдеби шолу

### Қиын-Керіш аймағын зерттеу тарихы

Қиын-Керіш шатқалындағы өсімдік қалдықтарын зерттеу ХХ ғасырдың ортасында басталып, алғашқы деректерді Б. А. Борисов жинақтаған. Ол «Кораблик» қимасынан өсімдік коллекцияларын жинап, бірнеше таксонның ғылыми сипаттамасын жасады, бұл кейінгі зерттеулерге маңызды негіз қалады [6]. Одан әрі бұл жұмыстарды жалғастырған И. А. Ильинская жиналған материалдарды терең талдады және болашақ зерттеулер үшін іргетас қалады [9, 10]. Зерттеулерге қосылған келесі ғалымдардың бірі – М. А. Ахметьев, ол Қиын-Керіш флорасының жүйелілігі мен географиялық таралуын айқындауда елеулі үлес қосты [1, 4, 5].

Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы – эоцен субтропикалық флорасы мен кеш олигоценнің қоңыржай флорасы арасындағы өтпелі кезеңді сипаттайтын ерекше дерек көзі. Бұл флора климаттық өзгерістердің аймақтың экожүйелеріне әсерін зерттеу үшін баға жетпес ақпарат ұсынады. Қиын-Керіш аймағында жүргізілген далалық зерттеулер барысында флораның 60-тан астам өсімдік түрі анықталып, аймақтың олигоцен дәуірінде бай өсімдік жамылғысы болғанын көрсетті [7, 8, 13]. Қазіргі уақытта «Кораблик» флорасына қатысты зерттеулер жалғасып, оның климаттық жағдайларын анықтау үшін заманауи әдістер, оның ішінде Coexistence Approach, қолданылады [15].

### Материалдар мен әдістер

Қазіргі уақытта Қиын-Керіш шатқалында континентальды климат басым, ол маусымдық температураның күрт өзгерістері мен жауын-шашынның салыстырмалы түрде төмен деңгейімен сипатталады. Орташа жылдық температура шамамен 3-4°C құрайды, қыста -18°C-қа дейін төмендеп, жазда 21-25°C-қа дейін көтеріледі. Жылдық жауын-шашын мөлшері 300-400 мм шамасында, бұл көрсеткіштер қазіргі климаттық жағдайлар ерте олигоцен кезеңімен салыстырғанда әлдеқайда қатал екенін көрсетеді [2].

Coexistence Approach (CA) әдісі Мосбруггер мен Утешердің 1997 жылғы жұмысынан бері кеңінен қолданылып келеді. Бұл әдістің мақсаты – қазба өсімдіктердің қазіргі аналогтарымен бірге тіршілік еткен климаттық жағдайларын анықтау, осылайша өткен кезеңнің климатын дәлірек реконструкциялау. Бұл әдіс бойынша өсімдіктердің қазба қалдықтарына сәйкес ең жақын қазіргі аналогтар (NLR) таңдалып, олардың климаттық параметрлері анықталады [3].

CA әдісінің негізгі кезеңдеріне барлық макрофоссилиялар үшін NLR анықтау және қазіргі метеорологиялық базалардан NLR үшін климаттық деректерді жинау кіреді. Бұл деректер орташа жылдық температура (MAT), ең суық және ең жылы айлардың температурасы (CMT және WMT), жылдық жауын-шашын мөлшері (MAP), сондай-ақ ең ылғалды және ең құрғақ айлардағы жауын-шашын мөлшері (MPWET және MPDRY) сияқты көрсеткіштерден тұрады [15, 18].

Бұл әдіс түрлі географиялық және климаттық жағдайларда ежелгі климатты реконструкциялауда жоғары нәтижелер көрсетіп келеді, бұл оның сенімділігін растайды. Мысалы, Цинхай-Тибет үстіртінде бұл әдіс аймақтың күрделі тау климатының қоңыржайдан бастап суыққа дейінгі кезеңдері үшін қолданылып, сол арқылы муссондық ағындар мен топографиялық ерекшеліктердің климатқа әсерін жан-жақты зерттеуге мүмкіндік берді [2, 16]. Шығыс Гималайдағы жоғарғы Сивалик субжотасын зерттеу барысында бұл әдіс жоғары муссондық жауын-шашын деңгейін

көрсететін тропикалық және субтропикалық климаттық кезеңдерді анықтау үшін тиімді болды [17]. Сол сияқты, Солтүстік Якутияда бұл әдіс ерте плиоцен дәуіріндегі жылы және ылғалды климатты сенімді түрде реконструкциялауға көмектесті, ал Шығыс Испанияда ерте миоцен кезеңін зерттеуде бұл әдіс басқа әдістермен салыстырғанда нақты әрі жүйелі деректер ұсынды [18, 19]. Осы зерттеулер көрсеткендей, Coexistence Approach әдісі әртүрлі экологиялық және климаттық жағдайларда жақсы нәтиже көрсеткендіктен, ол Қиын-Керіш шатқалының флорасын зерттеуде және ерте олигоцен кезеңінің климаттық ерекшеліктерін анықтауда таптырмас құрал болып табылады.

Coexistence Approach әдісі ежелгі климатты сандық тұрғыда реконструкциялаудың маңызды құралы болып табылады, әсіресе өсімдік қалдықтары жақсы сақталған және таксономиялық сипаттамасы анық аймақтарда. Дегенмен, әдістің кейбір шектеулері бар. Оларға ең жақын аналогтарды анықтау кезіндегі сәйкессіздіктер және тозаңның алыс қашықтықтарға таралуының әсері жатады. Бұл факторлар кейде температура мен жауын-шашын көрсеткіштерін реконструкциялаудың дәлдігіне ықпал етуі мүмкін [3, 20].

Зерттеу барысында Coexistence Approach әдісі қолданылып, өсімдік таксондарының климаттық көрсеткіштері талданды. Алдымен, зерттеліп отырған аймақтың флоралық құрамын анықтау үшін алдын ала жүргізілген жұмыстар негізге алынды. Осы мақсатта Ахметьев М.А. және Ильинская И.А. еңбектеріндегі Қиын-Керіш флорасына арналған деректер пайдаланылды. Ахметьевтің еңбегі ерте олигоцен флорасын басқа олигоцендік флоралармен салыстыруға арналған, ал Ильинскаяның жұмысы Қиын-Керіш шатқалының флорасын егжей-тегжейлі сипаттаған. Осы еңбектерден алынған таксондар тізімі зерттеудің бастапқы дереккөзі ретінде қолданылды [1, 2].

Әрі қарай, Coexistence Approach әдісін қолдану арқылы алынған таксондар тізімі қазіргі аналогтары (NLR) бойынша сәйкестендірілді. NLR анықтауда Palaeoflora Database базасындағы деректер қолданылды (Utescher, Bruch, & Mosbrugger, 2024). Бұл дерекқор өсімдік қалдықтарының қазіргі аналогтарын табу үшін кең көлемді мәліметтер ұсынады. Палеофлора дерекқорында әр таксонның климаттық параметрлері көрсетілген, соның ішінде температура, жауын-шашын және маусымдық көрсеткіштер сияқты негізгі параметрлер бар.

Palaeoflora Database базасы арқылы NLR сәйкестендіруі жүргізілген соң, әр таксонға қатысты палеоклиматтық деректер алынды. Бұл мәліметтер орташа жылдық температура (MAT), ең суық және ең жылы айлардағы орташа температуралар (CMT және WMT), сондай-ақ жылдық жауын-шашын мөлшері (MAP) және ең құрғақ/ылғалды айлардағы жауын-шашын көрсеткіштері (MPWET және MPDRY) секілді параметрлерді қамтыды. Осы деректер әр таксонның климаттық диапазонын анықтауға және ерте олигоцен кезеңінің климатын сандық түрде реконструкциялауға мүмкіндік берді [3].

Алынған нәтижелер Қиын-Керіш флорасының қазіргі аналогтары негізінде климаттық көрсеткіштердің қайталану аралығын анықтап, ерте олигоцен кезеңіндегі аймақтың климаттық жағдайларын сипаттауға септігін тигізді.

## **Нәтижелер мен талқылау**

Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы - бұл кезеңнің флоралық құрамын зерттеуге мүмкіндік беретін бірегей орын. Мұнда сақталған өсімдіктердің қазіргі тірі аналогтары (NLRs) арқылы климатты қайта құруға болады. Coexistence Approach әдісін қолдана отырып, ерте олигоцендегі экожүйелердің дамуындағы климаттық

жағдайларды егжей-тегжейлі анықтауға қол жеткізілді. Бұл әдіс NLR түрлерін пайдалана отырып, олардың қазіргі климаттық талаптары негізінде өткен дәуірдің температуралық және ылғалдылық көрсеткіштерін бағалауға мүмкіндік береді.

1-кесте «Кораблик» қимасында табылған өсімдік түрлерін және олардың қазіргі тірі аналогтарын (NLRs), сондай-ақ тиісті тұқымдастар мен таксондарды көрсетеді.

**Кесте 1. «Кораблик» қимасында табылған өсімдік түрлерін және олардың қазіргі тірі аналогтарын (NLRs)**

MACRO_NAME	NLR_TAXON	NLR_FAMILY
Acer sp.	Acer sp.	Aceraceae
Acer tartaricum	Acer sp.	Aceraceae
Ailanthus confucii UNGER 1851	Ailanthus altissima	Simaroubaceae
Ailanthus sp.	Ailanthus sp.	Simaroubaceae
Alnus neuburgae (BAIK.) ILJINSKAJA	Alnus trabeculosa, Alnus japonica	Betulaceae
Alnus schalhausenii Grubov	Alnus serrulata	Betulaceae
Alnus sp.	Alnus sp.	Betulaceae
Ampelopsis schischkini Iljinskaya	Ampelopsis sp.	Vitaceae
Ampelopsis sp.	Ampelopsis sp.	Vitaceae
Asclepias zaissanica Iljinskaya	Asclepiadaceae	Asclepiadaceae
Astronium ninae Akhmet. et Iljinskaja	Astronium sp.	Anacardiaceae
Betula sect. Costatae	Betula sect. Costatae	Betulaceae
Carex scheuchteri Heer	Carex sp.	Cyperaceae
Carpinus lanceolata Akhmet.	Carpinus henryana	Betulaceae
Castanea protocrenata Iljinskaja	Castanea crenata	Fagaceae
Castanea zaisanica Iljinskaja	Castanea sp.	Fagaceae
Cedrela sp.	Meliaceae (Melia, Cedrela)	Meliaceae
Cercidiphyllum sp.	Cercidiphyllum japonicum	Cercidiphyllaceae
Comptonia acutiloba	Comptonia peregrina	Myricaceae
Cyperacites angustifolia A.Br.	Cyperaceae	Cyperaceae
Diospyros kryshtofovichii Iljinskaja	Diospyros sp.	Ebenaceae
eucalyptus borissovii iljinskaja	Eucalyptus sp.	Myrtaceae
Eucommia borissovii Akhmet.	Eucommia ulmoides	Eucommiaceae
Eucommia palaeoulmoides Baikovskaja	Eucommia ulmoides	Eucommiaceae
Firmiana sp.	Firmiana sp.	Sterculiaceae
Fraxinus sp. 1	Fraxinus americana	Oleaceae
Fraxinus sp. 2	Fraxinus mandshurica, rhyndophylla	Oleaceae
Hemiptelea kryshtofovichii Iljinskaja	Hemiptelea davidii	Ulmaceae
Leguminosites sp.	Fabaceae	Fabaceae
Lindera vassilenkoi ILJINSKAYA	Lindera sp.	Lauraceae
Liquidambar manucoica Akhmet.	Liquidambar sp.	Hamamelidaceae
Mimosites sp.	Momosoideae	Mimosoideae
Myrica lignitum (UNGER) SAPORTA	Myrica sp.	Myricaceae
Nyssa sp.	Nyssa sp.	Nyssaceae
Phragmites oeningensis HEER 1855	Phragmites sp.	Gramineae
Pistacia zaisanica Iljinskaja	Pistacia sp.	Anacardiaceae
Platanus vasiljevii Iljinskaja	Platanus sp.	Platanaceae
Populus arnaudii (SAPORTA) ILJINSKAYA	Populus sp.	Salicaceae
Quercus borissovii Iljinskaja	Quercus sp.	Fagaceae
Quercus kiinkerishica Iljinskaja	Quercus sp.	Fagaceae
Quercus paleoserrata Iljinskaja	Quercus sp.	Fagaceae
Quercus parazaisanica Iljinskaja	Quercus sp.	Fagaceae
Quercus protopontica Iljinskaja	Quercus pontica	Fagaceae
Quercus zaisanica Iljinskaja	Quercus sp.	Fagaceae
Rhus kiinkerishica Akhmetjev	Rhus sp.	Anacardiaceae
Spiraea danibekii Akhmet.	Spiraea sp.	Rosaceae



Taxodium dubium complex	Taxodium sp.	Cupressaceae
Taxus palaeocuspидata Akmet.	Taxus cuspidata	Taxaceae
Ulmus schischkiniі Iljinskaja	Ulmus sp	Ulmaceae
Ulmus sp.	Ulmus sp	Ulmaceae
Vitis sp. cf. vulpina	Vitis sp.	Vitaceae

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [1]

1- кестеде көрсетілген деректерді талдау нәтижесінде «Кораблик» қимасындағы флораның түрлік әртүрлілігі және оның қоңыржай және субтропикалық климаттық аймақтарға тән өкілдерінің ерекше үйлесімі байқалады. Acer sp., Alnus sp., Betula sect. Costatae сияқты таксондардың болуы ерте олигоцен кезеңіндегі климаттың қазіргіге қарағанда жылы әрі ылғалды болғанын, әртүрлі экожүйелердің қолайлы дамуына жағдай жасағанын көрсетеді.

Осы кестеде берілген осы таксондардың қазіргі аналогтары Coexistence Approach әдісі мен Palaeoflora деректер базасының көмегімен анықталды, бұл ерте олигоцен кезеңіндегі климаттық параметрлерді дәлірек анықтауға мүмкіндік берілуі 2, 3-кестелерде көрсетілген.

Бұл зерттеуде Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасынан табылған қазба өсімдіктердің қазіргі тірі аналогтары (NLR) арқылы климаттық параметрлерді анықтауға мүмкіндік берілді. Coexistence Approach әдісінің және Palaeoflora деректер базасының көмегімен ерте олигоцен кезеңінің климаттық ерекшеліктері дәл анықталды. Бұл әдіс әрбір NLR үшін негізгі температуралық және ылғалдылық көрсеткіштерін жинап, өткен кезеңдегі климатты реконструкциялауға негіз болды.

## Кесте 2. Coaxistance approach әдісі бойынша климаттық (температуралық) нәтижелер

	MATmin	MATmax	MATmean	СМТmin	СМТmax	СМТmean	WMTmin	WMTmax	WMTmean
t° C	13,3	14,0	13,65	1	1,7	1,35	24,9	26,3	25,6
taxa coexistence (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Ескерту: MATmin-Орташа жылдық минималды температура; MATmax-Орташа жылдық максималды температура; MATmean -Орташа жылдық температура; СМТmin -Ең суық айдың минималды температурасы; СМТmax-Ең суық айдың максималды температурасы; СМТmean-Ең суық айдың орташа температурасы; WMTmin -Ең жылы айдың минималды температурасы; WMTmax-Ең жылы айдың максималды температурасы; WMTmean -Ең жылы айдың орташа температурасы 1-кесте көрсеткендей, «Кораблик» қимасында табылған өсімдік түрлері және олардың тірі аналогтары түрлі тұқымдастар мен таксондарды қамтиды. Анықталған флора құрамында Acer sp., Ailanthus sp., Alnus sp., Betula sect. Costatae және басқа да таксондар бар, олардың тіршілік ортасы мен климатқа қоятын талаптары негізінде климаттық жағдайларды сипаттауға болады.

Температуралық көрсеткіштер 2-кестеде әрбір NLR үшін орташа жылдық температура (MAT), ең суық айдағы температура (СМТ) және ең жылы айдағы температура (WMT) көрсеткіштері берілген. Орташа жылдық температура 13,65°C, ең суық айдың орташа температурасы шамамен 1,35°C, ал ең жылы айдың орташа

температурасы 25,6°C болған. Бұл көрсеткіштер ерте олигоцен кезеңіндегі климаттың қазіргі жағдайдан әлдеқайда жылы болғанын көрсетеді. Ең суық айдағы жоғары температура өсімдіктердің жұмсақ қысты және қысқы кезеңде өсімдіктің тіршілігін сақтауға мүмкіндік беретін қоңыржай климатты талап еткенін көрсетеді.

Осындай климаттық жағдайлардың маңызы анықталған климаттық параметрлер Қиын-Керіш шатқалындағы ерте олигоцен кезеңінің жылы әрі ылғалды болғанын дәлелдейді, бұл қазіргі континентальдық климаттан айтарлықтай ерекшеленеді. Жылдық орташа жауын-шашын мөлшерінің жоғарылығы және ең құрғақ айдағы салыстырмалы түрде жоғары ылғалдылық көрсеткіштері әр мезгілде тұрақты өсімдік жамылғысының тіршілігін қолдаған. Сонымен қатар, *Betula* секілді *Betulaceae* тұқымдасына жататын өсімдіктердің кең таралғаны, бұл климаттық жағдайдың олардың өсуіне қолайлы екенін дәлелдейді.

Осы зерттеуде Coexistence Approach әдісін және Palaeoflora деректер базасын қолдану арқылы реконструкцияланған ерте олигоцен кезеңінің климаттық жағдайлары аймақтың флоралық және экологиялық эволюциясына айтарлықтай ықпал еткенін көрсетеді. «Кораблик» қимасындағы өсімдік түрлерінің флоралық құрамы мен климаттық көрсеткіштері Қиын-Керіш шатқалында жылы және ылғалды климат басым болғанын растайды, бұл аймақтағы қазба флораның алуан түрлілігіне және сақталуына себеп болған.

**Кесте 3. Coaxistance approach әдісі бойынша климаттық (температуралық) нәтижелер**

	MAPmin	MAPmax	MAP mean	MPWETmin	MPWETmax	MPWETmean	MPDRYmin	MPDRYmax	MPDRYmean	MPWARMmin	MPWARMmax	MPWARM mean
mm	1134	1360,0	1247	152	153,0	152,5	49	55,0	52	118	142,0	130
taxa coexistence (%)	100	100	100	99	100	100	91.43	100	100	100	100	100

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [3]

Ерте олигоцен дәуіріндегі жауын-шашынның параметрлерін (3-кесте) талдау бұл кезеңнің қазіргі климатпен салыстырғанда анағұрлым ылғалды болғанын көрсетеді. Кестеде берілген деректерден байқалғандай, зерттелген аймақтағы жалпы жауын-шашын мөлшері қазіргі климатқа қарағанда айтарлықтай жоғары. Орташа жылдық жауын-шашын (MAPmean) көрсеткіштері көптеген NLR түрлері үшін 1000 мм-ден астам, ал кейбіреулері үшін бұл көрсеткіш 5000 мм-ден асқан. Бұл, өз кезегінде, ерте олигоцен кезеңінде Қиын-Керіш шатқалында тұрақты және жоғары ылғалдылықтың басым болғанын көрсетеді.

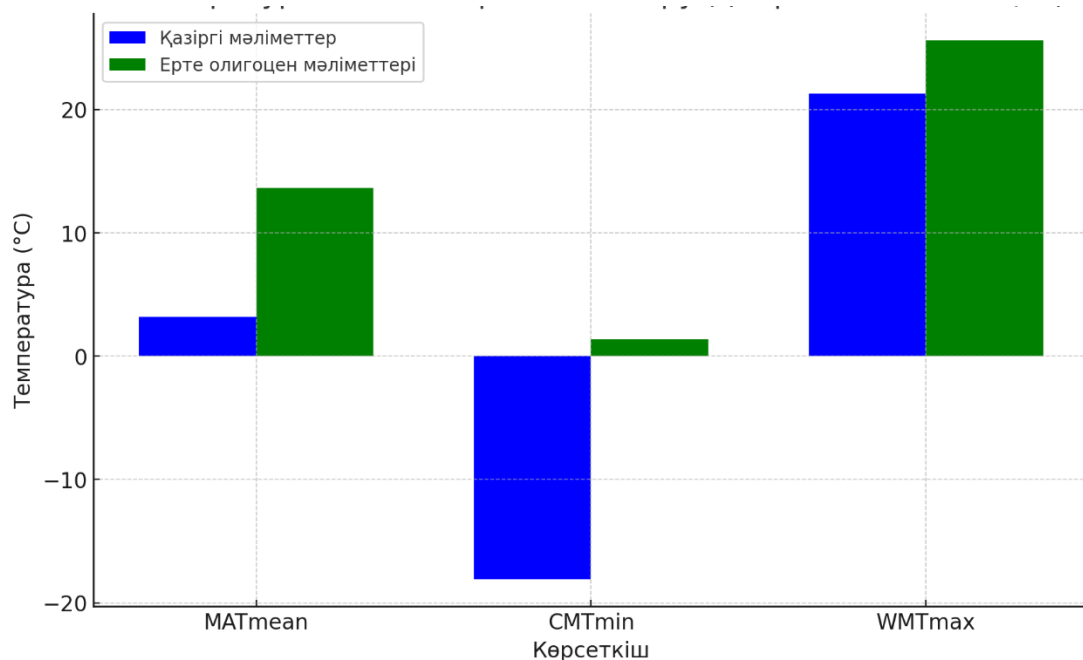
Сонымен қатар, ең ылғалды айдағы жауын-шашын деңгейі (MPWETmean) көрсеткіштері 365 мм-ден асатын параметрлерді көрсетеді, бұл маусымдық жауын-шашынның қарқындылығын білдіреді. Мысалы, *Ailanthus altissima* және *Lindera* sp. сияқты түрлер үшін ең ылғалды айдағы жауын-шашын көрсеткіштері сәйкесінше 198 мм және 1268 мм шамасында анықталған, бұл муссондық әсердің болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Құрғақ кезеңдерде де айтарлықтай ылғалдылық сақталғаны байқалады, себебі ең құрғақ айдағы жауын-шашын (MPDRYmean) көпшілік түрлер үшін 50 мм-ден жоғары. Мұндай көрсеткіштер субтропикалық аймақтарға тән тұрақты ылғалдылықты қамтамасыз етеді, ол флораның түрлілігі мен биомассасының жоғары деңгейін

қолдап отырған. Бұл жағдай, әсіресе, Betulaceae тұқымдасының өкілдерінде көрініс табады, себебі олардың қазіргі аналогтары қоңыржай және субтропикалық климаттарда мекендейді.

Осылайша, алынған мәліметтер ерте олигоцен кезеңіндегі климаттың тұрақты ылғалды әрі жылы болғанын және мұндай климаттық жағдайлар аймақтың өсімдіктер әлемінің дамуына оң әсер еткенін көрсетеді.

Бұл зерттеу ерте олигоцен кезеңіндегі климаттық жағдайларды заманауи көрсеткіштермен салыстыру арқылы өткен мен қазіргі климаттық айырмашылықтарды ашып көрсетеді. «Кораблик» қимасының флоралық құрамына негізделген реконструкция нәтижелері көрсеткендей, олигоцен дәуіріндегі климат қазіргі жағдайлармен салыстырғанда айтарлықтай жұмсақ әрі ылғалды болған.

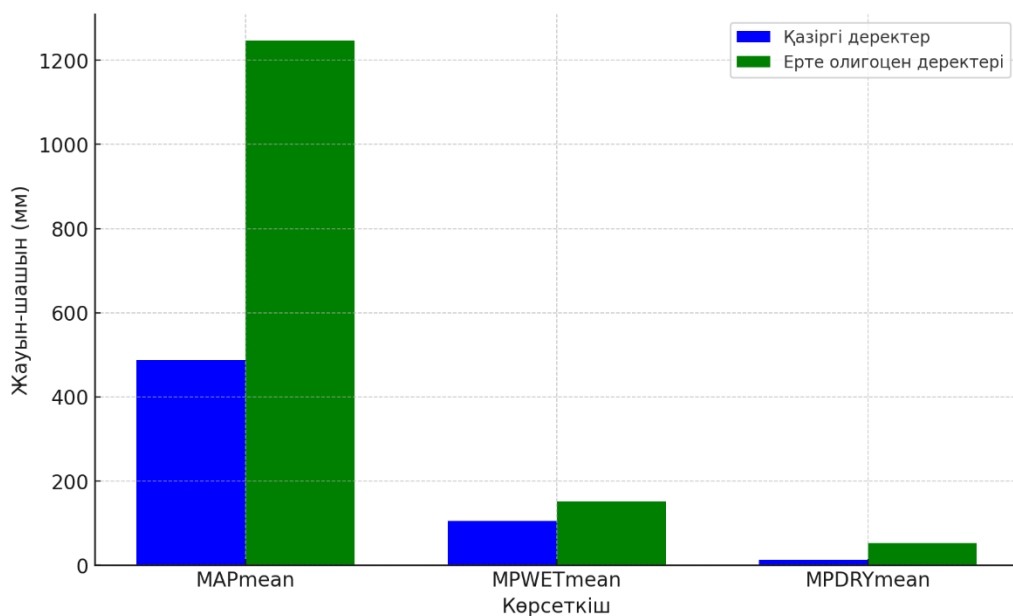


**Сурет 2. Заманауи және ерте олигоцен уақытындағы температуралық көрсеткіштер**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [2, 3]

Ерте олигоцен кезеңіндегі орташа жылдық температура (MATmean) 13,65°C болған, бұл қазіргі климатпен салыстырғанда айтарлықтай жоғары (графикке орын қалдыр). Қазіргі климаттық деректерге сәйкес, Курчум ауданында бұл көрсеткіш 3,2°C шамасында екені белгілі. Ерте олигоценнің жылылығы, әсіресе қыстың суық айларында байқалады. Ең суық айдағы орташа температура (CMTmin) 1,35°C деңгейінде болған, ал қазіргі уақытта бұл көрсеткіш -18,1°C-ге дейін төмендейді. Жоғары қысқы температуралар сол кезеңдегі климаттың жұмсақ болғанын және қатаң қыс мезгілінің болмауын көрсетеді, бұл өсімдіктердің қолайлы қыстау және көктемде өсіп-өнуіне мүмкіндік берді.

Жазғы температураға келетін болсақ, ерте олигоценде ең жылы айдың температурасы (WMTmax) 25,6°C болып, қазіргі кезеңмен салыстырғанда (21,3°C) біршама жоғары болған. Бұл жаз айларында өсімдіктердің белсенді өсіп-өніп, фотосинтез процесінің қарқынды өтуіне жағдай жасады. Жалпы алғанда, температуралық көрсеткіштердің салыстырмалы түрде жоғары және тұрақты болуы өсімдіктер қауымдастығының әртараптануына және тұрақты экожүйелердің қалыптасуына мүмкіндік берген.



**Сурет 3. Заманауи және ерте олигоцен уақытындағы жауын-шашын мөлшері және оның маусымдық таралуы бойынша көрсеткіштер**

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [2, 3]

Жауын-шашын көрсеткіштері де ерте олигоцен кезеңінің қазіргі кезеңге қарағанда анағұрлым ылғалды болғанын көрсетеді. Орташа жылдық жауын-шашын мөлшері (MAPmean) шамамен 1247 мм-ді құрады, бұл қазіргі көрсеткіштен (488,4 мм) екі есе көп. Бұл жауын-шашынның маусымдық өзгерістері, яғни ең ылғалды айлардағы (MPWETmean) және ең құрғақ айлардағы (MPDRYmean) жауын-шашынның жоғары деңгейде сақталуы, сол кезеңде тұрақты және теңдестірілген ылғалдылық режимінің болғанын көрсетеді.

Ерте олигоценде ең ылғалды айда жауын-шашын мөлшері (MPWETmean) 152,5 мм-ді құраған, ал қазіргі уақытта бұл көрсеткіш 104,9 мм шамасында ғана. Құрғақ айларда да айырмашылық байқалады: ерте олигоценде ең құрғақ айдағы жауын-шашын мөлшері (MPDRYmean) 52 мм-ге тең болса, қазіргі кезде тек 13,6 мм ғана жауын-шашын түседі. Бұл жауын-шашын көрсеткіштері сол кезеңде жауын-шашынның біршама тұрақты болғанын, тіпті құрғақ кезеңдерде де ылғалдылықтың өсімдіктердің өсіп-өнуіне жеткілікті болғанын дәлелдейді.

### **Coexistence Approach әдісін қолданып алынған басқа зерттеу нәтижелері**

Зерттеу барысында қолданылған Coexistence Approach әдісі әртүрлі аймақтарда палеоклиматтық параметрлерді реконструкциялау үшін сәтті қолданылған. Мысалы, Цинхай-Тибет үстіртіндегі зерттеулерде бұл әдіс күрделі тау климатын зерттеуде, муссондық әсерлер мен топографиялық ерекшеліктердің климатқа ықпалын анықтауда қолданылған [4, 16]. Сол сияқты, Шығыс Гималайдағы жоғарғы Сивалик субжотасының климатын зерттеу кезінде де Coexistence Approach әдісі жауын-шашынның маусымдық өзгерістерін дәл анықтауда сәтті қолданылған [17].

Солтүстік Якутия мен Лена өзенінің бойында жүргізілген зерттеулер бұл әдісті ерте плиоцен кезеңіндегі климаттық көрсеткіштерді анықтау үшін пайдаланды. Мұнда климаттық деректер ерте плиоценде салыстырмалы жылы және ылғалды болғанын көрсетті, бұл қазіргі қатал континенттік климатпен салыстырғанда айтарлықтай ерекшеленеді [18]. Сондай-ақ, Шығыс Испаниядағы зерттеулерде

Coexistence Approach әдісі ерте миоцен кезеңінің климатын сипаттауда қолданылған және ол кезде аймақта жылы әрі ылғалды климаттың басым болғанын көрсетті [19].

Ерте олигоцен кезеңіндегі тұрақты ылғалдылық пен жұмсақ климат жағдайлары өсімдіктердің әртүрлілігі мен тұрақтылығына қолайлы әсер еткені анықталды. Алынған климаттық көрсеткіштер арқылы сол кезеңде қоңыржай және субтропикалық сипаттағы өсімдіктердің таралуына қолайлы жағдай жасалғанын байқауға болады. Бұл ерте олигоцен кезеңінде аймақтың бай флоралық құрамын және оның алуан түрлі экожүйелерін қолдап, биоалуантүрліліктің жоғары деңгейде болуына септігін тигізген.

## Қорытынды

Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасының ерте олигоцен кезеңіндегі климаттық жағдайларын зерттеу нәтижелері аймақтың сол уақыттағы жылы әрі жұмсақ климатта болғанын көрсетеді. Ерте олигоцен кезеңіндегі орташа жылдық температура қазіргі жағдаймен салыстырғанда едәуір жоғары болған, бұл жылы климат жағдайында өсімдіктердің әртүрлілігі мен таралуына ықпал еткен.

Сол кезеңдегі қыстың жұмсақтығы аймақтың қазіргіге қарағанда қысқы климаттық стресстен аз зардап шеккенін көрсетеді. Ең суық айдағы орташа температураның жоғары болуы өсімдіктерге қысқы кезеңде де тіршілік етуге қолайлы жағдай туғызды.

Ерте олигоценде жауын-шашын мөлшері қазіргі көрсеткіштермен салыстырғанда айтарлықтай мол болған, бұл тұрақты ылғалдылықтың және бай өсімдік жамылғысының сақталуына ықпал етті. Сонымен қатар, маусымдық ылғалдылықтың жыл бойы біркелкі бөлінуі экожүйенің тұрақтылығына оң әсер етіп, өсімдіктердің тіршілігін қамтамасыз етті.

Жалпы алғанда, бұл зерттеу ерте олигоцен кезеңіндегі климаттың қазіргі заманғы жағдайлардан айтарлықтай ерекшеленгенін және сол кезеңде бай өсімдік жамылғысының дамуына қолайлы жағдай болғанын дәлелдейді.

**Алғыс айту:** Бұл мақала ИРН AP22686786 «Олигоцен-миоцен шекарасындағы Қазақстан аумағындағы палеоклиматты реконструкциялауда палеофлористикалық талдау және сандық әдістерді қолдану» гранттық жобасы аясында дайындалды.

**Мүдделер қақтығысы:** мүдделер қақтығысы жоқ.

**Авторлардың қосқан үлесі:** Ақмағамбет Ш.Б. - зерттеу жұмысының тұжырымдамасы, Coexistence Approach әдісін қолдану арқылы алынған мәліметтерді статистикалық өңдеу және интерпретациялау, сондай-ақ алынған нәтижелерді графикалық түрде визуализациялау жасап мақаланы жазды, Жаманғара А.Қ. - мақаланы сыни тұрғыдан қарап және талдады. Нигматова С.А. - әдеби шолу және палеоботаникалық деректердің жинақталуына жәрдемдесу, сонымен қатар зерттеудің бастапқы кезеңдеріндегі материалдар мен мәліметтерді жинауға қатысты. Адамжанова Ж.А. - Қиын-Керіш аумағы бойынша мәліметтер жинап және оларды талдады.

## Әдебиеттер тізімі

1. Ахметьев М.А. Сравнение раннеолигоценовой флоры Киин-Кериша с другими олигоценовыми флорами // Формирование эоценово-миоценовой флоры Казахстана и Русской равнины: Криштофовичские чтения. - Вып. 2. - Л.: БИН АН СССР, 1991. - С. 37-56.

2. Обычная погода в Курчум, Казахстан, весь год [Электронный ресурс]. WeatherSpark. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/110801/Обычная-погода-в-Курчум-Казахстан-весь-год#Figures-Summary> (дата обращения: 18.10.2024).
3. Utescher T., Bruch A.A., Mosbrugger V. The Palaeoflora Database - Documentation and Data (Version 2024) [Electronic resource]. Zenodo, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10881069>
4. Zhang Z.-Y., Cheng D.-M., Li C.-S., Hu W., Zhan X.-H., Ji H.-L. The complexity of climate reconstructions using the coexistence approach on Qinghai-Tibetan Plateau // Journal of Palaeogeography. - 2019. - Vol. 8, № 1. - P. 5. <https://doi.org/10.1186/s42501-018-0016-0>.
5. Utescher T., Bruch A.A., Erdei B., François L., Ivanov D., Jacques F.M.B., Kern A.K., Liu Y.-S. (C.), Mosbrugger V., Spicer R.A. The Coexistence Approach—Theoretical background and practical considerations of using plant fossils for climate quantification // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. - 2014. - Vol. 410. - P. 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.031>.
6. Ахметьев М.А. Флора Зайсанской впадины на рубеже эоцена и олигоцена // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1985. - № 11. - С. 76–85.
7. Ахметьев М.А., Ильинская И.А. Виды семейства Anacardiaceae из нижнеолигоценовых отложений гряды Киин-Кериш Зайсанской впадины // Палеонтол. журн. - 1989. - № 2. - С. 79–88.
8. Борисов Б.А. Биостратиграфия континентальных палеогеновых отложений Зайсанской впадины // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. - 1983. - Т. 322. - С. 89–98.
9. Жилин С.Г. Основные этапы формирования умеренной лесной флоры в олигоцене раннем миоцене Казахстана. - Л.: Наука, 1984. - 112 с.
10. Жилин С.Г. О методах стратиграфической палеофлористики // Вопросы палеофлористики и стратиграфии. - Л.: Наука, 1989. - С. 40–44.
11. Ильинская И.А. Ископаемая флора горы Киин-Кериш Зайсанского бассейна. Ч. 2 // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 8. - 1963. - Вып. 4. - С. 146–187.
12. Ильинская И.А. Изменение флоры Зайсанской впадины с начала мела по миоцен // Проблемы палеоботаники. - Л.: Наука, 1986. - С. 84–112.
13. Ильинская И.А. Палеогеновые флоры горы Киин-Кериш и их новые виды // Вопросы палеофлористики и стратиграфии. - Л.: Наука, 1989. - С. 44–60.
14. Ильинская И.А., Кянсеп-Ромашкина Н.П., Панова Л.А., Борисов Б.А. Палеогеновая флора Зайсанской впадины // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. - 1983. - Т. 322. - С. 115–127.
15. Bondarenko O.V., Utescher T., Blokhina N.I., Evstigneeva T.A., Kezina T.V. Temporal climate and vegetation gradient of the Paleocene in the Amur Region (Far East of Russia) // Botanica Pacifica. - 2020. - Vol. 9, No. 2. - P. 13–35. DOI: 10.17581/bp.2020.09209
16. Zhang Z.Y., Cheng D.M., Hu W., и др. The complexity of climate reconstructions using the Coexistence Approach on the Qinghai-Tibetan Plateau // Journal of Palaeogeography. - 2019. - Vol. 8, No. 1. - P. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42501-018-0016-0>
17. Srivastava G., Bhatia H., Mehrotra R.C., и др. Climate and vegetation change during the Upper Siwalik—a study based on the palaeobotanical record of the eastern Himalaya // Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments. - 2021. - Vol. 101, No. 1. - P. 103–121. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12549-020-00457-w>
18. Bondarenko O.V., Utescher T. Quantitative dynamics of the early Pliocene climate and vegetation in the Lena River Delta (northern Yakutia, Eastern Siberia) // Botanica Pacifica. - 2022. - Vol. 11, No. 2. - P. 3–17.
19. Postigo-Mijarra J.M., Barrón E., и др. Climatic reconstruction at the early Miocene La Rinconada mine (Ribesalbes-Alcora Basin, eastern Spain) based on Coexistence Approach, CLAMP, and LMA analysis // Review of Palaeobotany and Palynology. - 2022. - Vol. 304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104714>
20. Ivanov D., и др. Climate reconstructions based on Miocene leaf flora from NW Bulgaria: Comparing leaf physiognomy and nearest living relative approach // Phytologia Balcanica. - 2019. - Vol. 25, No. 2.
21. Google Earth. Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы аймағы [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.google.com/web/search/48.13424,+84.49215/@48.1072,84.3969,452.02603565a,2174>



Ш.Б. Акмагамбет<sup>1\*</sup>, А.К. Жамангара<sup>2</sup>, С.А. Нигматова<sup>3</sup>,  
Ж.А. Адамжанова<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> *Международный университет Астана, Астана, Казахстан*

<sup>3</sup> *Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

(E-mail: <sup>1</sup>ashakhizada@gmail.com, <sup>2</sup>kashagankizi@mail.ru, <sup>3</sup>nigmatova@mail.ru,  
<sup>4</sup>adamzhanova@mail.ru,

### Использование метода Coexistence Approach для реконструкции климата раннего олигоцена на основе палеофлористических данных останца Киин-Кериш

**Аннотация.** Данное исследование посвящено палеоклиматической реконструкции раннего олигоцена на основе флоры разреза «Кораблик» в районе Киин-Кериш в Восточном Казахстане. Цель исследования – определить климатические условия того периода с использованием метода Coexistence Approach (CA) и оценить влияние региональных экологических изменений на растительный покров. Результаты показали, что в раннем олигоцене в этом районе преобладал теплый и влажный климат, что отразилось в разнообразии таксонов флоры. Научная значимость работы заключается в обогащении данных о климатической истории региона, а практическая значимость – в возможности применения данного метода реконструкции для изучения других разрезов Казахстана.

**Ключевые слова:** ранний олигоцен, Киин-Кериш, палеоклиматическая реконструкция, Coexistence Approach, растительные остатки, климатические изменения, палеофлористический анализ.

Sh. B. Akmagambet<sup>1\*</sup>, A.K. Zhamangara<sup>2</sup>, S.A. Nigmatova<sup>3</sup>,  
Zh.A. Adamzhanova<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> *Astana International University, Astana, Kazakhstan*

<sup>3</sup> *Satpayev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan*

(E-mail: <sup>1</sup>ashakhizada@gmail.com, <sup>2</sup>kashagankizi@mail.ru, <sup>3</sup>nigmatova@mail.ru,  
<sup>4</sup>adamzhanova@mail.ru

### Application of the Coexistence Approach Method for Early Oligocene Climate Reconstruction Based on Paleofloristic Data from the Kiin-Kerish Outcrop

**Abstract.** This study focuses on the paleoclimate reconstruction of the early Oligocene based on the flora of the "Korablik" outcrop in the Kiin-Kerish area of Eastern Kazakhstan. The aim of the research is to determine the climatic conditions of that period using the Coexistence Approach (CA) method and to assess the impact of regional ecological changes on vegetation cover. The results showed that a warm and humid climate prevailed in this area during the early Oligocene, reflected in the diversity of floral taxa. The scientific significance of this work lies in enriching data on the region's climatic history, while its practical significance is in enabling the application of this reconstruction method for studying other outcrops in Kazakhstan.

**Keywords:** early Oligocene, Kiin-Kerish, paleoclimate reconstruction, Coexistence Approach, plant remains, climate change, paleofloristic analysis

#### References

1. Akhmet'yev M.A. Sravneniye ranneoligotsenovoy flory Kiin-Kerisha s drugimi oligotsenovymi florami [Comparison of the Early Oligocene Flora of Kiin-Kerish with Other Oligocene

Floras]// Formirovaniye eotsenovo-miotsenovoy flory Kazakhstana i Russkoy ravniny: Krishtofovichskiye chteniya. [Formation of the Eocene-Miocene Flora of Kazakhstan and the Russian Plain: Krishtofovich Readings] Issue 2. Leningrad: BIN AS USSR, 1991. P. 37–56.

2. Normal Weather in Kurchum, Kazakhstan, All Year Round [Electronic resource]. WeatherSpark. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/110801/Usual-weather-in-Kurchum-Kazakhstan-all-year#Figures-Summary> (Accessed: 18.10.2024).

3. Utescher T., Bruch A.A., Mosbrugger V. The Palaeoflora Database - Documentation and Data (Version 2024) [Electronic resource]. Zenodo, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10881069>

4. Zhang Z.-Y., Cheng D.-M., Li C.-S., Hu W., Zhan X.-H., Ji H.-L. The complexity of climate reconstructions using the coexistence approach on Qinghai-Tibetan Plateau // Journal of Palaeogeography. - 2019. - Vol. 8, № 1. - P. 5. <https://doi.org/10.1186/s42501-018-0016-0>.

5. Utescher T., Bruch A.A., Erdei B., François L., Ivanov D., Jacques F.M.B., Kern A.K., Liu Y.-S. (C.), Mosbrugger V., Spicer R.A. The Coexistence Approach—Theoretical background and practical considerations of using plant fossils for climate quantification // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. - 2014. - Vol. 410. - P. 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.031>.

6. Akhmet'yev M.A. Flora Zaysanskoy vpadiny na rubezhe eotsena i oligotsena [Flora of the Zaysan Depression at the Eocene-Oligocene boundary] // Izv. AN SSSR. Ser. geol. [Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series]. 1985. No. 11. P. 76–85.

7. Akhmet'yev M.A., Il'inskaya I.A. Vidy semeystva Anacardiaceae iz nizhneoligotsenovykh otlozheniy gryady Kiin-Kerish Zaysanskoy vpadiny [Species of the family Anacardiaceae from the Lower Oligocene deposits of the Kiin-Kerish ridge of the Zaysan Depression] // Paleontol. zhurn. 1989. № 2. P. 79–88.

8. Borisov B.A. Biostratigrafiya kontinental'nykh paleogenovykh otlozheniy Zaysanskoy vpadiny [Biostratigraphy of continental Paleogene deposits of the Zaysan Depression] // Proceedings of VSEGEI New Series 1983. Vol. 322. P. 89–98.

9. Zhilin S.G. Osnovnyye etapy formirovaniya umerennoy lesnoy flory v oligotsene-rannem miotsene Kazakhstana [Main stages of formation of temperate forest flora in Oligocene-Early Miocene of Kazakhstan]. L.: Nauka, 1984. 112 p.

10. Zhilin S.G. O metodakh stratigraficheskoy paleofloristiki [On methods of stratigraphic paleofloristics] // Voprosy paleofloristiki i stratigrafii [Questions of paleofloristics and stratigraphy]. L.: Nauka, 1989. P. 40–44.

11. Il'inskaya I.A. Iskopyayemaya flora gory Kiin-Kerish Zaysanskogo basseyna. CH. 2 [Fossil flora of Mount Kiin-Kerish of Zaisan basin. Part 2] // Transactions of Botanical Institute of USSR Academy of Sciences. Ser. 8. 1963. Issue 4. P. 146–187.

12. Il'inskaya I.A. Izmeneniye flory Zaysanskoy vpadiny s nachala mela po miotsen [Changes in flora of Zaisan depression from the beginning of Cretaceous to Miocene] // Problemy paleobotaniki [Problems of paleobotany]. L.: Nauka, 1986a. P. 84–112.

13. Il'inskaya I.A. Paleogenovyye flory gory Kiin-Kerish i ikh novyye vidy [Paleogene floras of Mount Kiin-Kerish and their new species] // Voprosy paleofloristiki i stratigrafii [Questions of paleofloristics and stratigraphy]. L.: Nauka, 1989. P. 44–60.

14. Il'inskaya I.A., Kyansep-Romashkina N.P., Panova L.A., Borisov B.A. Paleogenovaya flora Zaysanskoy vpadiny [Paleogene flora of the Zaisan Depression] // Proceedings of VSEGEI. Nov. series. 1983. Vol. 322. P. 115–127.

15. Bondarenko O.V., Utescher T., Blokhina N.I., Evstigneeva T.A., Kezina T.V. Temporal climate and vegetation gradient of the Paleocene in the Amur Region (Far East of Russia) // Botanica Pacifica. - 2020. - Vol. 9, No. 2. - P. 13–35. DOI: [10.17581/bp.2020.09209](https://doi.org/10.17581/bp.2020.09209)

16. Zhang Z.Y., Cheng D.M., Hu W., и др. The complexity of climate reconstructions using the Coexistence Approach on the Qinghai-Tibetan Plateau // Journal of Palaeogeography. - 2019. - Vol. 8, No. 1. - P. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42501-018-0016-0>

17. Srivastava G., Bhatia H., Mehrotra R.C., и др. Climate and vegetation change during the Upper Siwalik—a study based on the palaeobotanical record of the eastern Himalaya // Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments. - 2021. - Vol. 101, No. 1. - P. 103–121. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12549-020-00457-w>

18. Bondarenko O.V., Utescher T. Quantitative dynamics of the early Pliocene climate and vegetation in the Lena River Delta (northern Yakutia, Eastern Siberia) // *Botanica Pacifica*. - 2022. - Vol. 11, No. 2. - P. 3–17.

19. Postigo-Mijarra J.M., Barrón E., и др. Climatic reconstruction at the early Miocene La Rinconada mine (Ribesalbes-Alcora Basin, eastern Spain) based on Coexistence Approach, CLAMP, and LMA analysis // *Review of Palaeobotany and Palynology*. - 2022. - Vol. 304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104714>

20. Ivanov D., и др. Climate reconstructions based on Miocene leaf flora from NW Bulgaria: Comparing leaf physiognomy and nearest living relative approach // *Phytologia Balcanica*. - 2019. - Vol. 25, No. 2.

21. Google Earth. Қиын-Керіш шатқалындағы «Кораблик» қимасы аймағы [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.google.com/web/search/48.13424,+84.49215/@48.1072,84.3969,452.02603565a,2174.9.11190139d,30y,0h,0t,0r/data=CiwjgokCQFvZWFdcEhAEeaMLIm02EdAGbnxcFeChlVAIQozxiCowlRAQgIIATIpCicKIQohMTU5S002d3ZESnVoNIZCZ3p5eUJEbjlSQWJkNE12enlXIAE6AwoBMEICCBKCAi25ZTXBhAB> (дата обращения: 10.11.2024)

**Авторлар туралы мәлімет:**

**Ақмағамбет Ш.Б.** – хат-хабар авторы, жаратылыстану ғылымдары магистрі, Астана халықаралық университеті, Қабанбай батыр, 8, 010000, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0001-6330-4800

**Жаманғара А.Қ.** – биология ғылымдарының кандидаты, профессор м.а, Астана халықаралық университеті, Қабанбай батыр, 8, 010000, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-2348-1711

**Нигматова С.А.** – геология-минералогия ғылымдарының докторы, доцент, Қ.И. Сәтпаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Сәтпаев көшесі, 22а, 050000, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-3199-1658

**Adamzhanova Z.A.** - candidate of biological sciences, PhD, Astana International University, associate professor of the Higher School of Natural Sciences, Kabanbay Batyr, 8, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6719-327X

**Akmagambet Sh.B.** – Corresponding author, Master of Natural Sciences, Astana International University, 8 Kabanbay Batyr Avenue, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-6330-4800

**Zhamangara A.K.** – Candidate of Biological Sciences, Acting Professor, Astana International University, 8 Kabanbay Batyr Avenue, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-2348-1711

**Nigmatova S.A.** – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, K.I. Satpayev Institute of Geological Sciences, 22a Satpayev Street, 050000, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-3199-1658

**Adamzhanova Z.A.** - candidate of biological sciences, PhD, Astana International University, associate professor of the Higher School of Natural Sciences, Kabanbay Batyr, 8, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6719-327X



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ХҒТАР 556

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-148-158>

Ғылыми мақала

## Көкшетау қыратының кейбір көлдерінің гидрохимиялық режимі

А.М. Задағали<sup>1\*</sup>, А.К. Жаманғара<sup>2</sup>, Т.Н. Самарханов<sup>3</sup>,

Ж.А. Адамжанова<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>1,2</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>«Астана ботаникалық бағы» - Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі Орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің «Ботаника және фитоинтродукция институты» ШЖҚ РМК филиалы, Астана, Қазақстан

(E-mail: <sup>1</sup>[z.a.aizhan1993@gmail.com](mailto:z.a.aizhan1993@gmail.com), <sup>2</sup>[kashagankizi@mail.ru](mailto:kashagankizi@mail.ru),  
<sup>3</sup>[talant.68@mail.ru](mailto:talant.68@mail.ru), <sup>4</sup>[adamzhanova@mail.ru](mailto:adamzhanova@mail.ru))

**Аңдатпа.** Мақалада Көкшетау қыратында орналасқан Имантау, Шалқар (Солтүстік Қазақстан облысы), Зеренді, Қопа (Ақмола облысы) көлдерінің 2022-2023 жылғы гидрохимиялық көрсеткіштері көрсетілген. Зеренді, Имантау, Шалқар көлдері «Көкшетау» МҰТП су айдындарының ең ірілері болып табылады. Ал Қопа көлі Көкшетау қаласының ортасында орналасқан, аймақтағы аса урбандалған территорияда орналасқан. Зерттелген жылдар арасында кейбір көрсеткіштер бойынша өзгеріс байқалады, сонымен қатар ШРК мөлшерінен асатын көрсеткіштер табылған. Су объектілеріне антропогендік жүктеменің көбеюіне байланысты зерттеулердің жыл сайын жаңарып отыруы маңызды болып табылады, сонымен қатар гидрохимиялық көрсеткіштермен бірге гидробиологиялық зерттеулер жүргізілуде.

Зеренді, Қопа, Имантау және Шалқар көлдерінде аммоний иондарының мөлшерінің жоғарылауы байқалады, бұл органикалық заттармен ластануының белгісі. Сонымен қатар, Шалқар көлінде судың химиялық құрамындағы күрт өзгерістер байқалады, онда минералданудың күрт артуы байқалды, бұл су қоймасының жағдайын одан әрі зерттеуді қажет етеді. Зеренді көлінің химиялық құрамы салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ натрий мен калийдің жоғары концентрациясы байқалады, бұл ШРК-дан асып тұр. Магний мен кальцийдің де мөлшері нормадан жоғары, бұл судың минералы деңгейінің өскенін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** гидрохимия, көлдер, Көкшетау қыраты, су объектілері, МҰТП.

Түсті: 15.10.2024. Мақұлданды: 09.12.2024. Онлайн қолжетімді: 31.12.2024.

\* - автор-корреспондент

## Кіріспе

Қазіргі уақытта қалалардың дамуы мен адам әрекетіне байланысты су экожүйелеріне антропогендік жүктеменің артуы байқалады.

Көкшетау қыраты құрғақ климаттық белдеуде орналасқан, онда су объектілері климаттық (булану, құрғау және т.б.), сондай-ақ антропогендік әсерлерге де (ластану, суаруға, суаруға пайдалану) ұшырайды. Бұл факторлар жалпы экожүйенің тұрақты дамуына, әсіресе биологиялық әртүрліліктің азаюына кері әсер етеді. Қопа, Зеренді, Имантау және Шалқар көлдері экологиялық тепе-теңдікте шешуші рөл атқарып қана қоймай, Көкшетау транзиттік паркінің аумағына кіретін өңірдің маңызды су қоймалары болып табылады. Бұл мақалада осы көлдің гидрохимиялық ерекшеліктерін және олардың аймақ үшін маңызын қарастырамыз.

## Әдеби шолу

Көкшетау қыратында орналасқан Қопа, Зеренді, Имантау және Шалқар көлдері аймақтың экожүйесін сақтауда шешуші рөл атқаратын маңызды гидрологиялық нысандар болып табылады. Зеренді, Имантау және Шалқар көлдері Көкшетау МҰТП негізгі аймағына кіретін ең ірі көлдерге жатады және қорғауға алынған, бұл табиғи ресурстарды игерудің төмен деңгейі жағдайында оларды сақтауға және зерттеуге ықпал етеді [1]. Бұл көлдердің гидрохимиялық сипаттамалары өзгерістердің, сондай-ақ антропогендік факторлардың әсерінен төмендейді, бұл оларды экологиялық мониторингті кешенді жүргізу шараларын қажет етеді.

Көлдердің әрқайсысының геологиялық құрылымын, климаттық жағдайын, гидрологиялық режимін және антропогендік әсер дәрежесін анықтайтын өзіне ғана тән гидрохимиялық ерекшеліктері бар. Көкшетау МҰТП көлдерінің бұрынғы зерттеулеріне сүйенсек, гидрохимиялық және гидрологиялық жағдайы судағы тіршілік иелеріне қолайлылығы сипатталады [2].

Бұл су қоймаларының гидрохимиялық талдауы қазіргі экологиялық проблемаларды анықтауға ғана емес, сонымен бірге олардың экожүйелерінің алдағы өзгерістерін болжауға мүмкіндік береді. Көкшетау ұлттық паркі осы су қоймаларын сақтауда, су сапасына мониторингті қамтамасыз етуде және қоршаған ортаны қорғау шараларын жүргізуде үлкен рөл атқарады. Көкшетау таулы аймағындағы көлдің гидрохимиялық көрсеткіштерін зерттеу осы экожүйелерде болып жатқан процестерді түсіну және оларды қорғау мен тұрақтылығын арттыру стратегиясын әзірлеу үшін қажет. Су объектілеріне антропогендік жүктеменің көбеюіне байланысты зерттеулердің жыл сайын жаңарып отыруы маңызды болып табылады, сонымен қатар гидрохимиялық көрсеткіштермен бірге гидробиологиялық зерттеулер жүргізілуде.

Зерттеу объектілері - Зеренді, Қопа, Шалқар, Имантау көлдері.

Зеренді көлі Ақмола облысында, Көкшетау қаласынан солтүстік-батысқа қарай 50 шақырымдай жерде орналасқан. Көлдің ауданы шамамен 7,4 шаршы шақырымды құрайды. Көлдің орташа тереңдігі 6-8 метр, максимум 12 метр.

Зеренді көлінің суы өте мөлдір және таза, бұл биологиялық әртүрлілікке оң әсер етеді. Алайда әдебиеттерге сүйенсек Зеренді көлінде цианобактериялардың гүлдеуі байқалған, олар судың органолептикалық қасиеттіне және судағы еріген оттегінің мөлшеріне әсер етеді [3]. Сонымен қатар минералды құрамның төмен болуына қарамастан, галофилдер мен мезогалобты балдырлардың болуы тұздылықтың және су тазалығының сезондық ауытқуларын көрсетеді [4]. Көл негізінен қарағай мен



қайыңнан тұратын ормандармен қоршалған. Зеренді табиғи және рекреациялық ресурстарына байланысты танымал туристік бағыт болып табылады.

Қопа көлі Көкшетау қаласы әкімдігінің қарауында. Көлдің су бетінің ауданы  $14 \text{ км}^2$  (басқа мәліметтер бойынша -  $13,1 \text{ км}^2$ ), ал су жинау көлемі  $3860 \text{ км}^3$ . Көлдің максималды тереңдігі 3 метрге жетеді, ал су бетінің биіктігі теңіз деңгейінен 223,8 метрді құрайды. Қопа көліне Шағалалы және Қылшақты өзендері құяды [5].



Сурет 1. Көлдердің орналасу аймағы. А – Зеренді, Б – Қопа, С – Шалқар, Д – Имантау

Қопа көлі Көкшетау қаласына жақын орналасқан, жағалауы аласа. Оңтүстік және шығыс жағында құмды және тасты таяздар, ал батыс және солтүстік жағында қамыс пен мүйізді шоқтар өседі. Көлдің түбі лайлы, лай қабаты, кей жерлерде 6 метрге дейін жетеді. Қопа көлінің ұзындығы – 5,62 км, орташа ені – 2,721 км, орташа тереңдігі – 2,67 м, су беті  $14,794 \text{ км}^2$ , су қорының көлемі  $41,45 \text{ млн м}^3$ . Көлдің жағдайы көл төңірегінде орналасқан қалалық елді мекендердің ағынды суларының әсерімен тығыз байланысты. Қалада жақын маңдағы жеке үйлердің шұңқырларын ағызатын нәсерлі кәріз жүйесі дұрыс ұйымдастырылмаған. Сонымен қатар, көлге Қылшақты өзені құяды, ол да ластанған [6].

Имантау көлі Солтүстік Қазақстан облысы Айыртау ауданында, ауылдың солтүстік-батысында, теңіз деңгейінен 321 метр абсолютті биіктікте орналасқан. Көл Имантау тауларының солтүстігінде орналасқан. Көлдің оңтүстік-батыс бөлігінде ұзындығы 800 метр, ені 500 метрдей. Оңтүстік-батыс жағалауы тік және биік, мұнда Имантау тауларының баурайы көлге қарай созылып, жартасты жағалауды құрайды. Үлкен елді мекендерден шалғай орналасқандықтан және жұмсақ антропогендік ауа райына байланысты көлдің гидрохимиясы тұрақты болып қалады. Көлдің туристік потенциалы қазіргі уақытта өте жоғары болып табылады [7].



Шалқар көлі Солтүстік Қазақстан облысында, Айыртау ауданында, Шалқар ауылының батысында 0,7 км қашықтықта және теңіз деңгейінен 305 метр абсолютті биіктікте орналасқан. Көлдің солтүстік және батыс бөліктерінде дренаждық жүйесі бар таулы рельеф басым [8]. Төбелердің ең биік нүктелері солтүстік және батыс жағында орналасқан. Көлдің оңтүстік бөлігі Айыртау ойпатымен шектеседі. Көл бассейнінің солтүстік бөлігінде қайың, терек, кей жерлерде қарағай қоспасы бар ормандар бар.

Шалқар көлі негізінен жауын-шашын, еріген су, биіктіктен ағып жатқан жаңбыр суларымен қоректенеді. Дренаждық аймақтар су деңгейін ұстап тұруға көмектеседі, сонымен қатар булану және дренаж процестеріне қарамастан оның тұрақты толтырылуын қамтамасыз етеді. Шалқар көлі, Имантау сияқты, ұлттық саябақтың территориясында орналасқан және суының тазалығымен ерекшеленеді. Шалқардағы судың мөлдірлігі жоғары, бұл су флорасы мен фаунасының дамуына ықпал етеді [9]. Бұл көл аймақтың биоәртүрлілігін сақтау үшін ерекше маңызға ие.

### Материалдар мен әдістер

Зерттеу материалдары ретінде Зеренді, Қопа, Шалқар, Имантау көлдерінен алынған су сынамалары алынды (Сурет 1). Гидрохимиялық зерттеулер үшін су үлгілері арнайы пластик ыдыстарға құйылды. Сынамалар өзен жағасынан 10-12 м қашықтықтағы қайықтан алынды. Судың сапасын бағалау үшін сынамалар судың беткі қабатынан алынды. Зерттеу 2022 және 2023 жылдары «ЭкоНус» ЖШС (Қарағанды қаласы) жеке сынақ зертханасында жүргізілді.

Зерттеуде келесі стандарттарға сәйкес зерттеу әдістері қолданылды: МемСТ 26449.1-85, МемСТ 26449.2-85, МемСТ 23268.1-91, МемСТ 33045-2014, МемСТ 31868-2012, ҚР СТ ИСО 7027-2007, ҚР СТ ISO 6332-2008, СТ ИСО 10523-2013.

Әрбір стандарт су сапасын қамтамасыз ету және әртүрлі салаларда суды талдау талаптарын орындау үшін маңызды рөл атқарады. МемСТ 26449.1-85: Тұзды суды өңдеуге арналған стационарлық дистилляциялық қондырғылар үшін химиялық талдау әдістерін анықтайды. Стандарт дистилденген судың сапасын талдау және бағалау бойынша нұсқаулықтарды қамтиды [10]. МемСТ 26449.2-85: Тұзды судан алынған дистиллятты химиялық талдау әдістерін сипаттайды. Бұл стандарт дистилденген судың құрамын және сапасын бағалау әдістемелерін, соның ішінде әртүрлі химиялық құрамдастарды анықтауды қамтиды [11]. МемГОСТ 23268.1-91: Ішуге арналған минералды сулардың органолептикалық көрсеткіштерін (дәм, иіс, түс) және бөтелкелердегі көлемін анықтау әдістерін белгілейді. Бұл стандарт минералды сулардың сапасын бақылау үшін маңызды [12]. МемСТ 33045-2014: Судағы азот құрамындағы заттарды анықтау әдістерін сипаттайды. Стандарт аммоний, нитрат және нитрит сияқты әртүрлі азот түрлерінің мөлшерін анықтауға мүмкіндік беретін әдістемелерді қамтиды [13]. МемСТ 31868-2012: Судың түсін анықтау әдістерін белгілейді. Ол судың сапасын бақылау үшін маңызды болып табылатын судың түсін сандық бағалауға арналған әртүрлі тәсілдерді қамтиды [14]. ҚР СТ ИСО 7027-2007: Судың лайлылығын өлшеу әдістемесін анықтайды. Бұл стандарт халықаралық нормаларға негізделген және ластанудың көрсеткіші ретінде лайлылықты бағалауда бірізділікті қамтамасыз етеді [15]. СТ ИСО 6332-2008: 1,10-фенантролинді қолдану арқылы спектрометриялық әдіспен судағы темір құрамын анықтауды сипаттайды. Темірдің шектен тыс мөлшері судың сапасына теріс әсер етуі мүмкін болғандықтан, бұл стандарт оның құрамын бақылау үшін маңызды [16]. СТ ИСО 10523-2013: Судың рН деңгейін анықтау әдістерін белгілейді. Бұл стандарт

судың сапасы мен қауіпсіздігіне әсер ететін қышқылдық-сілтілік тепе-теңдікті бағалау үшін маңызды [17].

Бұл стандарттардың барлығы су сапасын бақылауда және ішуге, минералды суларға немесе техникалық мақсаттарға арналған суды талдау талаптарын орындауда маңызды рөл атқарады.

Жұмыс барысында келесі көрсеткіштердің мәндері анықталды: рН, тотығу қабілеті, жалпы минералдану, қаттылық, сульфаттар, хлор, магний, кальций, аниондар мен катиондардың мөлшері, органолептикалық қасиеттері және аммоний иондары.

### Нәтижелер мен талқылау

Көкшетау қыраты көлдерінің гидрохимиялық режимі әдеби деректерге сүйенсек соңғы 100 жылда қатты өзгермеген. Алайда антропогендік жүктеме Зеренді, Имантау, Шалқар көлдерінде туристік потенциалға байланысты соңғы жылдары артып келеді. Ал Қопа көлі урбандалған территорияда орналасқандықтан 2019 жылы ең көп ластанған және судың сапасы бойынша бесінші классқа жатады, яғни өндірістік мақсатта қолдануға ғана жарамды [18]. Қопа көлінде кейінгі жылдары органикалық ластанудың көрсеткіші болатын *Microcystis aeruginosa* (Kützing), *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Anabaena* sp цианобактерияларының жазғы уақытта гүлдеуі байқалады. 2022 және 2023 жылдары Зеренді, Қопа, Имантау және Шалқар көлдерінің суының химиялық құрамы бойынша зерттеулер жүргізілді. Нәтижелер натрий, калий, магний, темір және аммоний иондарының концентрацияларының өзгеру динамикасын көрсетеді.

### Кесте 1. 2022 – 2023 жылдарға арналған су ортасының гидрохимиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер атауы	ШРК	Зеренді көлі		Қопа көлі		Имантау көлі		Шалқар көлі	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Жалпы қаттылық, Mg- эквив /дм <sup>3</sup>	7,0	7,20	7,00	9,00	7,50	6,30	6,20	7,80	22,00
Карбонатты қаттылық, Mg- экв /дм <sup>3</sup>	7,0	7,20	7,00	3,90	3,80	5,70	5,40	6,00	17,50
рН	6-9	8,57	8,2	7,93	7,3	7,85	7,4	8,24	8,6
SiO <sub>2</sub> , мг / дм <sup>3</sup>	10	9,86	6,60	7,07	7,14	9,64	11,00	7,71	0,11
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> мг/дм <sup>3</sup>	10	15,80	10,60	11,30	11,40	15,40	17,60	12,30	0,17
Перманганаттың тотығуы, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,0	17,6	14,8	7,0	10	8,2	8,2	12,0	14,2
Сухой қалдығы, мг/дм <sup>3</sup>	1000	863	966	962	860	768	798	879	5466
Жалпы минералдану, мг/дм <sup>3</sup>	1000	1034	1248	1085	980	948	969	1067	5787
Температура, °C		22,0	23	22,0	23	22	23	22	23
Бұлыңғырлық, мг/дм <sup>3</sup>	15	0,59	<0,58	1,01	<0,58	0,80	<0,58	1,22	<0,58
Түсі, дәрежесі	20	25,4	17	41,0	26	31,5	18	1,22	10
Иіс, ұпай	2	0	2	0	3	0	2	0	3

1 кестеде Зеренді, Қопа және Имантау көлдерінің қаттылығы мен минералдануының шамалы ауытқуын қоспағанда, салыстырмалы түрде тұрақты су сапасының көрсеткіштерін көрсететінін байқауға болады. Алайда 2023 жылы Шалқар көлінде айтарлықтай өзгерістер байқалады: жалпы кермектіктің, карбонатты қаттылықтың, минералданудың және құрғақ қалдықтың күрт артуы, бұл судың күшті минералдануын және ықтимал экологиялық проблемаларды көрсетуі мүмкін [8]. 2023 жылы қаттылықтың 7,80-ден 22,00 мг-экв/дм<sup>3</sup>-ге дейін күрт өсуі байқалады, бұл судың тұздылығының жоғарылағанын көрсетеді.

**Кесте 2. Зерттелген көлдердегі негізгі иондардың минералдануы және құрамы**

Көрсеткіштер атауы	ШРК	Зеренді көлі		Қопа көлі		Имантау көлі		Шалқар көлі	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Натрий және калий мг/дм <sup>3</sup>	200	207	248	188	172	175	183	188	1764
Кальций мг/дм <sup>3</sup>	3,5	48	32	84	70	52	46	60	20
Магний мг/дм <sup>3</sup>	50	58	66	58	49	45	47	58	255
Жалпы темір мг/дм <sup>3</sup>	0,3	< 0,06	0,08	0,39	<0,05	<0,05	0,21	0,16	0,06
Fe II мг/дм <sup>3</sup>		< 0,1	0,06	0,04	0,03	<0,01	0,11	0,02	0,04
Fe III мг/дм <sup>3</sup>		0,35	0,02	0,35	<0,01	<0,01	0,10	0,14	0,04
Аммоний ионы мг/дм <sup>3</sup>	0,5	< 0,07	0,68	0,15	0,68	0,09	0,26	0,08	0,50
Хлорид мг/дм <sup>3</sup>	350	223	230	319	259	230	220	280	2836
Сульфат мг/дм <sup>3</sup>	500	41	106	190	189	80	124	100	60
Гидрокарбонат мг/дм <sup>3</sup>	400	329	555	238	232	348	329	366	641
Карбонат мг/дм <sup>3</sup>	200	108	-	-	-	-	-	-	210
Нитрат мг/д <sup>3</sup>	45	3,40	<0,3	3,30	<0,3	2,60	0,60	1,50	<0,3
Нитрит мг/дм <sup>3</sup>	3,3	<0,006	0,009	0,022	0,075	<0,006	1,136	<0,006	0,025

2 кестеде судағы негізгі иондардың минералдануы мен құрамы көрсетілген.

Зеренді көлінде 2022 және 2023 жылдарға арналған су химиясында қалыпты өзгерістер бар. Натрий мен калийдің концентрациясы зерттелген жылдары 207, 248 мг/дм<sup>3</sup>-ге деңгейінде болды, бұл шекті рұқсат етілген концентрациядан өскенін көруге болады. Сонымен қатар кальций мен магнийдің де шектен тыс болуы барлық көлдерде байқалады. Хлоридтер, сульфаттар, гидрокарбонат және карбонаттар, шектес тыс көрсеткіш көрсетеді.

Қопа көлінде 2023 жылы натрий, калий, тұз және магний мөлшері өткен жылмен салыстырғанда төмендеді, бұл су қоймасының ішінара қалпына келтірілгенін көрсетуі мүмкін. Алайда аммиак иондарының мөлшері 0,15-тен 0,68 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін өсті, бұл судың ластануын көрсетеді. 2023 жылы темірдің жалпы мөлшері де төмендеді (0,39-дан <0,05 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін).

Имантау көлінде 2023 жылы натрий мен калий концентрациясының (175-тен 183 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін) және аммоний иондарының (0,09-дан 0,26 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін) жоғарылауы байқалады. Бұл органикалық ластанудың жоғарылауына байланысты су сапасының нашарлауын көрсетуі мүмкін.

Шалқар көлінде 2023 жылы натрий мен калийдің (188-ден 1764 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін) және магнийдің (58-ден 255 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін) күрт өсуі байқалды, бұл судың минералданғанын көрсетеді [19]. Кальцийдің концентрациясы, керісінше, 60-тан 20

мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін төмендеді. Аммоний иондарының мөлшері де жоғарылады (0,08-ден 0,50 мг/дм<sup>3</sup>-ге дейін), бұл ықтимал органикалық ластануды көрсетеді.

Қорытынды. 2022- 2023 жылдары жасалған гидрохимиялық талдау бойынша Зеренді, Қопа, Имантау және Шалқар көлдерінде аммоний иондарының мөлшерінің жоғарылауы байқалады, бұл органикалық заттармен ластануының белгісі. Сонымен қатар, Шалқар көлінде судың химиялық құрамындағы күрт өзгерістер байқалады, онда минералданудың күрт артуы байқалды, бұл су қоймасының жағдайын одан әрі зерттеуді қажет етеді. Зеренді көлінің химиялық құрамы салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ натрий мен калийдің жоғары концентрациясы байқалады, бұл ШРК-дан асып тұр. Магний мен кальцийдің де мөлшері нормадан жоғары, бұл судың минералы деңгейінің өскенін көрсетеді.

**Қаржыландыру:** Мақала AP19175101 «Көкшетау» МҰТП урбанизацияланған аумақтары су объектілерінің альгофлорасы» гранттық жобасы аясында орындалған.

**Мүдделер қақтығысы:** мүдделер қақтығысы жоқ.

**Авторлардың қосқан үлесі:** Авторлардың үлестері тең.

### Әдебиеттер тізімі

1. Яценко Р.В. Заповедники Средней Азии и Казахстана. Охраняемые природные территории Средней Азии и Казахстана. Вып. 1. - Алматы: Тетис, 2006. - 352 с.
2. Шуткараев А.В., Асылбекова А.С. «Көкшетау» МҰТП су айдындарының гидрологиялық және гидрохимиялық режимі / А. В. Шуткараев, А. С. Асылбекова // Ауыл шаруашылық ғылымдары. - 2021. - № 3. - Б. 24-26. - DOI: 10.12345/22266070\_2021\_3\_24.
3. Өнерхан Г., Смаилова Г.Т., Сокова О.Т., Шакиржанова И.С. Индикатор - сапробты микробалдырларды табиғи су экожүйелерін бағалауда пайдалану // Вестник КазНУ. Серия биологическая. - 2012. - № 1(53). - С. 37-40.
4. Баринаева С.С., Романов Р.Е. К флоре водорослей озера Зеренда, Северный Казахстан. // В сборнике: Азия далаларындағы биологиялық әртүрлілік. III халықаралық ғылыми конференцияның материалдары – Қостанай: ҚМПИ, 2017.- С. 139-143.
5. Донидзе Г.И. Словарь названий гидрографических объектов России и других стран СНГ - М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1999.
6. Садвокасова А.Т., Фахруденова И.Б., Карнаухова Т.В., Тазитдинова Р.М. Оценка качества озера Копа города Кокшетау по гидрохимическим показателям // Гидрометеорология и экология. - 2021. - № 2. - С. 50-55. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-102-3-74-79>
7. Куржыкаев Ж., Сыздықов К., Асылбекова А., Сабдинова Д., Фефелов В. Современное состояние рыбных запасов реки Есиль // Зоология. - 2019. - Т. 36. С. 1
8. Асылбекова А.С., Баринаева Г.К., Ахметжанова Н.А. Особенности гидрологического режима и качества естественного уровня воспроизводства рыбы реки Есиль // Многопрофильный научный журнал: интеллект, идея, инновации. - 2020. - № 1. - С. 35-40.
9. Сыздықов К.Н., Асылбекова А.С., Аубакирова Г.А., Куанчалева Ж.Б., Марленов Э.Б. Научные исследования в рыбководстве. - Нур-Султан: Изд-во Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, 2019. - 202 с.
10. ГОСТ 26449.1-85 [Электрондық ресурс]: Опреснительные стационарные дистилляционные установки. Тұзды сулардың химиялық талдау әдістері = Stationary distillation desalting units. Methods of saline water chemical analysis. - [б.и.], 1985. - Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30611815](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30611815)
11. ГОСТ 26449.2-85 [Электрондық ресурс]: Опреснительные стационарные дистилляционные установки. Дистилляттың химиялық талдау әдістері = Stationary distillation desalting units. Methods of distillate chemical analysis. - [б.и.], 1985. - Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30117826](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30117826)

12. МемСТ 23268.1-91 [Электрондық ресурс]: Минералды сулар: ішуге арналған емдік, емдік-үстел және табиғи үстел сулары. Су бөтелкелеріндегі органолептикалық көрсеткіштер мен көлемін анықтау әдістері = Drinking medicinal, medicinal-table and natural-table mineral waters. Methods for determination of organoleptic indices and volume of water in bottles. – [б.и.], 1991. – Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30561377](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30561377)
13. Мемлекетаралық стандартизация, метрология және сертификаттау бойынша кеңес (МСМС). 2019. ГОСТ 33045-2014 [Электрондық ресурс]: Су. Азот құрамындағы заттарды анықтау әдістері = Water. Methods for determination of nitrogen-containing substances (ISO 6777:1984, NEQ). – Москва: Стандартинформ, 2019. – Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=36735683](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36735683)
14. Мемлекетаралық стандарт. 2012. ГОСТ 31868-2012 [Электрондық ресурс]: Су. Түсін анықтау әдістері = Water. Methods for determination of colour. – [б.и.], 2012. – Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31466561](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31466561)
15. Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли Республики Казахстан (Госстандарт). 2007. СТ РК ИСО 7027-2007 [Электронный ресурс]: Качество воды. Определение мутности = ISO 7027:1999 Water quality. Determination of turbidity, IDT. – Астана: [б. и.], 2007. – Режим доступа: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31279316](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31279316) –
16. ҚР СТ ISO 6332-2008 [Электрондық ресурс]: Су сапасы. Темірдің мөлшерін анықтау. 1,10-фенантролин қолданылған спектрометриялық әдіс = ISO 6332:1988 Water quality - Determination of iron - Spectrometric method using 1,10-phenanthroline, IDT. – Астана: [б.и.], 2008. – Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30531876&pos=1;-16#pos=1;-16](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30531876&pos=1;-16#pos=1;-16), ҚР СТ ИСО 10523-2013
17. Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар министрлігінің Техникалық реттеу және метрология комитеті (Мемстандарт). 2013. ҚР СТ ISO 10523-2013 [Электрондық ресурс]: Су сапасы. рН анықтау = ISO 10523:2008 Water quality. Determination of pH, IDT. – Астана: [б.и.], 2013. – Қолжетімділік режимі: URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=37910958](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37910958)
18. Ziyun F. For sustainable life in lake Environment // 9th Int. Conf. “Conservation and Management Lakes”. Session 1. Otsu: UNEP/ILEC Publ. - 2001. - P. 294–297.
19. Бурлибаев М.Ж. и др. Комплексная оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям. - Алматы: Ғылым, 2007. - 96 с.

**А.М. Задагали\*<sup>1</sup>, А.Қ. Жамангара<sup>2</sup>, Т.Н. Самарханов<sup>3</sup>, Ж.А. Адамжанова<sup>4</sup>**

*<sup>1,3,4</sup>Международный университет Астана, Астана, Казахстан*

*<sup>1,2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

*<sup>2</sup>«Астанинский ботанический сад» - Филиал РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитопроизводства» КЛХЖМ МЭПР РК, Астана, Казахстан*

### **Гидрохимический режим некоторых озер Кокшетауской возвышенности**

**Аннотация:** В статье показаны гидрохимические показатели озер Имантау, Шалкар (Северо-Казахстанская область), Зеренда, Копа (Акмолинская область), расположенных на Кокшетауской возвышенности, за 2022-2023 гг. Озера Зеренда, Имантау, Шалкар – крупнейшие водоемы ГНПП «Кокшетау». Озеро Копа расположено в центре города Кокшетау, в самом урбанизированном районе региона. Между изучаемыми годами наблюдается изменение некоторых показателей, а также показателей, превышающих ПДК. В связи с увеличением антропогенной нагрузки на водные объекты важно ежегодно обновлять исследования, а также проводятся гидробиологические исследования с гидрохимическими показателями.

В озерах Зеренда, Копа, Имантау и Шалкар отмечается увеличение количества ионов аммония, что является признаком загрязнения органическими веществами. Кроме того, резкие изменения химического состава воды наблюдаются в озере Шалкар, где наблюдается резкое увеличение минерализации, что требует дальнейших исследований состояния

водоема. Химический состав озера Зеренда относительно стабилен, но отмечается высокая концентрация натрия и калия, превышающая ПДК. Уровни магния и кальция также выше нормы, что указывает на повышенный уровень минералов в воде.

**Ключевые слова:** гидрохимия, озера, Кокшетауская возвышенность, водные объекты, ГНПП.

**A.M. Zadagali<sup>\*1</sup>, A.K. Zhamangara<sup>2</sup>, T.N. Samarkhanov<sup>3</sup>, Zh.A. Adamzhanova<sup>4</sup>**

*<sup>1,3,4</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan*

*<sup>1,2</sup>Eurasian National University named after L.N. Gumileva, Astana, Kazakhstan*

*<sup>2</sup>«Astana Botanical Garden» branch of the Republican State Enterprise on the right of economic management "Institute of Botany and Phytoinroduction", Astana,*

### **Hydrochemical regime of some lakes of Kokshetau upland**

**Abstract:** The hydrochemical indicators of lakes Imantau, Shalkar (North-Kazakhstan region), Zerenda, Kopa (Akmola region) located on the Kokshetau upland for 2022-2023 are shown in the article. Lake Zerenda, Imantau, Shalkar - the largest water reservoir of STNP "Kokshetau". Lake Kopa is located in the center of Kokshetau, in the most urbanized area of the region. Between the studied years, there is a change in some indicators, as well as indicators exceeding the MPC. In connection with the increase in anthropogenic load on water bodies, it is important to update research annually, and hydrobiological research with hydrochemical parameters is also conducted.

An increase in the amount of ammonium ions is noted in lakes Zerenda, Kopa, Imantau and Shalkar, which is a sign of pollution by organic substances. In addition, sharp changes in the chemical composition of water are observed in Lake Shalkar, where a sharp increase in mineralization is observed, which requires further studies of the state of the reservoir. The chemical composition of Lake Zerenda is relatively stable, but there is a high concentration of sodium and potassium exceeding the MPC. The levels of magnesium and calcium are also higher than normal, which indicates a higher level of minerals in the water.

**Keywords:** hydrochemistry, lakes, Kokshetau upland, water bodies, STNP.

### **References**

1. Jashhenko R.V., red. Zapovedniki Srednej Azii i Kazahstana. Ohranjaemye prirodnye territorii Srednej Azii i Kazahstana [Nature reserves of Central Asia and Kazakhstan. Protected natural areas of Central Asia and Kazakhstan]. Vyp. 1. Almaty: Tetis, 2006. 352 s. ISBN 9965-9822-3-6 [in Russian]
2. Shutkaraev A.V., Asylbekova A.S. Gidrologo-gidrohimicheskij rezhim vodnykh ob"ektov GNPP «Kokshetau» [Hydrological and Hydrochemical Regime of Water Bodies of GNPP "Kokshetau"]. Sel'skokhozyaystvennyye nauki [Agricultural Sciences], 3. 24–26 (2021). DOI: 10.12345/22266070\_2021\_3\_24. [in Russian].
3. Onerkhan G., Smailova G.T., Sokova O.T., Shakirzhanova I.S. Ispol'zovanie indikator-saprobnykh mikrovdoroslej v ocenke prirodnykh vodnykh ehkosistem [Use of Indicator-Saprobic Microalgae in the Assessment of Natural Aquatic Ecosystems]. Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya [KazNU Bulletin. Biological Series], 1(53). 37–40 (2012). [in Russian].
4. Barinova S.S., Romanov R.E. K flore vdoroslej ozera Zerenda, Severnyj Kazakhstan [On the Algal Flora of Lake Zerenda, Northern Kazakhstan]. Biologicheskoe raznoobrazie v stepyakh Azii [Biological Diversity in Asian Steppes]. Proceedings of the 3rd International Scientific Conference (Kostanay, Kazakhstan, April 24–27, 2017). Kostanay State Pedagogical Institute, 139–143 (2017). [in Russian].
5. Donidze G.I. Slovar' nazvanij gidrograficheskikh ob"ektov Rossii i drugih stran SNG [Dictionary of Names of Hydrographic Objects of Russia and Other CIS Countries]. Moscow: Kartgeotsentr – Geodezizdat. [in Russian].
6. Sadvokasova A.T., Fakhrudanova I.B., Karnaukhova T.V., Tazitdinova R.M. Ocenka kachestva ozera Kopa goroda Kokshetau po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Assessment of the Quality of



Lake Kopa in Kokshetau City by Hydrochemical Indicators] *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and Ecology], 2. 50–55 (2021). DOI: 10.54668/2789-6323-2021-102-3-74-79. [in Russian].

7. Kurzhykaev Zh., Syzdykov K., Asylbekova A., Sabdinova D., Fefelov V. *Sovremennoe sostoyanie rybnых zapasov reki Esil'* [Current State of Fish Resources in the Esil River]. *Zoologiya* [Zoology], 36. 1 (2019). [in Russian].

8. Asylbekova A.S., Barinova G.K., Akhmetzhanova N.A. *Osobennosti gidrologicheskogo rezhima i kachestva estestvennogo urovnya vosproizvodstva ryby reki Esil'* [Hydrological Regime Features and Natural Fish Reproduction Levels in the Esil River]. *Mnogoprofil'nyy nauchnyy zhurnal 3i: Intellekt, Ideya, Innovatsiya* [Multidisciplinary Scientific Journal 3i: Intelligence, Idea, Innovation], 1. 35–40 (2020). [in Russian].

9. Syzdykov K.N., Asylbekova A.S., Aubakirova G.A., Kuanchaleev Zh.B., Marlenov E.B. *Nauchnye issledovaniya v rybovodstve: uchebnik* [Scientific Research in Fish Farming: A Textbook]. Nur-Sultan: Kazakh Agro-Technical University, 202 p. (2019). [in Russian].

10. GOST 26449.1-85. *Opresnitel'nye stacionarnye distillyacionnye ustanovki. Metody khimicheskogo analiza solenых vod*, [Stationary Distillation Desalting Units. Methods of Saline Water Chemical Analysis]. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30611815](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30611815) (accessed 13.04.2010).

11. GOST 26449.2-85. *Opresnitel'nye stacionarnye distillyacionnye ustanovki. Metody khimicheskogo analiza distillyata*, [Stationary Distillation Desalting Units. Methods of Distillate Chemical Analysis]. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30117826](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30117826) (accessed 07.11.2007).

12. GOST 23268.1-91. *Mineral'nye vody: pit'evye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye vody. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazatelej i ob'ema vody v butylkakh*, [Drinking Medicinal, Medicinal-Table, and Natural-Table Mineral Waters. Methods for Determination of Organoleptic Indices and Volume of Water in Bottles]. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30561377](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30561377) (accessed 03.02.2010).

13. *Mezghosudarstvennyy standartizatsiya, metrologiya i sertifikatsiya po MSMS* (2019). GOST 33045-2014. *Voda. Metody opredeleniya azotsoderzhashchikh veshchestv*, [Water. Methods for Determination of Nitrogen-Containing Substances]. (ISO 6777:1984, NEQ). – Moscow: Standartinform, 2019. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=36735683](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36735683) (accessed 31.05.2016).

14. *Mezghosudarstvennyy standart* (2012). GOST 31868-2012. *Voda. Metody opredeleniya tsveta*, [Water. Methods for Determination of Colour]. – [b.i.], 2012. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31466561](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31466561) (accessed 06.11.2013).

15. *Komitet po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii Ministerstva promyshlennosti i trgovli Respubliki Kazakhstan (Gosstandart)* (2007). ST RK ISO 7027-2007. *Kachestvo vody. Opredelenie mutnosti*, [Water Quality. Determination of Turbidity]. IDT. – Astana: [b.i.], 2007. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31279316](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31279316) (accessed 29.10.2012).

16. KR ST ISO 6332-2008. *Kachestvo vody. Opredelenie sodержaniya zheleza. Spektrometricheskij metod s ispol'zovaniem 1,10-fenantrolina* = ISO 6332:1988, [Water Quality - Determination of Iron - Spectrometric Method Using 1,10-Phenanthroline]. IDT. – Astana: [b.i.], 2008. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30531876&pos=1;-16#pos=1;-16](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30531876&pos=1;-16#pos=1;-16) (accessed 22.12.2009).

17. *Ministerstvo industrializatsii i novыkh tekhnologiy Respubliki Kazakhstan, Komitet tekhnicheskogo regulirovaniya i metrologii (Gosstandart)* (2013). KR ST ISO 10523-2013: *Kachestvo vody. Opredelenie pH* = ISO 10523:2008 *Water Quality, [Determination of pH]*. IDT. – Astana: [b.i.], 2013. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=37910958](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37910958) (accessed 08.07.2022).

18. Ziyun F. For sustainable life in lake Environment // 9th Int. Conf. “Conservation and Management Lakes”. Session 1. Otsu: UNEP/ILEC Publ. - 2001. - P. 294–297. [in Russian]

19. Burlibaev M.Zh. i dr. *Kompleksnaya ocenka kachestva poverkhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazateljam* [Kompleksnaya ocenka kachestva poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim indikatoram]. Almaty: Gylym, 2007. 96 s. [in Russian]

**Авторлар туралы мәлімет:**

**Задағали А.М.** – хат-хабар авторы, магистр, жоба жетекшісі, Астана халықаралық университеті, Қабанбай батыр, 8, 010000, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-2537-3538

**Жаманғара А.К.** – биология ғылымдарының кандидаты, «Астана ботаникалық бағы» - Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі Орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің "Ботаника және фитоинтродукция институты" ШЖҚ РМК филиалы, палеоботаника лабораториясының меңгерушісі, Орынбор, 14 б, 010016, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-2348-1711

**Самарханов Т.Н.** – PhD, Астана халықаралық университеті педагогикалық институтының доценті м.а., Қабанбай батыр, 8, 010000, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0003-4891-8278

**Адамжанова Ж.А.** – биология ғылымдарының кандидаты, PhD, Астана халықаралық университеті, жаратылыстану ғылымдары жоғары мектебінің қауымдастырылған профессоры, Қабанбай батыр, 8, 010000, Астана, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-6719-327X

**Zadagali A.M.** - corresponding author, master of natural science, project manager, Astana International University, Kabanbai Batyr, 8, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-2537-3538

**Zhamangara A.K.** - candidate of biological sciences, «Astana Botanical Garden» branch of the Republican State Enterprise on the right of economic management "Institute of Botany and Phytoinroduction", head of the paleobotany laboratory, Orynbor 14 b, 010016, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-2348-1711

**Samarkhanov T.N.** - PhD, Astana International University, acting associate professor of Pedagogical Institute, Kabanbay Batyr, 8, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0003-4891-8278

**Adamzhanova Z.A.** - candidate of biological sciences, PhD, Astana International University, associate professor of the Higher School of Natural Sciences, Kabanbay Batyr, 8, 010000, Astana, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6719-327X



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 87.01.05

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-159-165>

A mini-review

## Transition from environmental protection to environmental sustainability

M. Ratiu 

University of Oradea, Romania

(E-mail: [mratiu@uoradea.ro](mailto:mratiu@uoradea.ro))

**Abstract.** The multiplication of sources of pollution and the increase and diversification of forms of environmental pollution have made environmental protection one of humanity's most important and serious problems in recent decades, affecting human life and the economic development of countries and the whole world. Protection of the environment serves to maintain the quantity and quality of life on Earth, being assumed, through the Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment in Stockholm in 1972, as the major desire and interest of the peoples of the whole world and, at the same time, becoming a duty of all governments. Alongside economic and social development, environmental protection is one of the three interdependent and complementary pillars of sustainable development, defined for the first time in the Brundtland Report of the World Commission on Environment and Development as development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Clear and time-bound sustainable development goals have been set, global targets for a sustainable and prosperous future, but these are now proving elusive as the challenges are growing ever greater and more dangerous. The effects of global warming can be seen and felt everywhere, the climate crisis is increasingly being talked about, biodiversity and nature are in steadily increasing decline, a water crisis, a food crisis, and dangerous critical points are being predicted. In this context, the transition from environmental protection to environmental sustainability is essential to respond to contemporary global challenges, and requires a concerted effort from all of us - governments, institutions and companies, civil society and every individual. Sustainability is a proactive approach that is crucial for our survival and that of future generations and implies a responsible commitment to the planet, to conserve natural resources and ecosystems and to maintain ecological balance.

**Keywords:** environment, pollution, environmental protection, sustainable development, sustainability.

## **Introduction**

What kind of environment do we want to live in?

What kind of environment do we want to leave to our children and grandchildren?

We all believe that the air we breathe, the water we drink and the food we eat should be clean. A clean and healthy environment is vital to the standard of living we want for ourselves today and for our children in the future. Protecting the planet creates both challenges and opportunities. Through greater efficiency and better use of natural resources, we can break the link between economic growth and environmental destruction. We can be both prosperous and ecologists.

Many people have become aware that we need to act to protect the planet and use natural resources much more rationally and efficiently. We are beginning to take responsibility for our own behavior and the impact we have on the environment. Individuals, families, businesses, public institutions and environmental associations are joining forces to recycle waste, save energy, buy green products and protect nature. In short, we need to move towards a society where cars do not pollute the atmosphere, waste can be recycled or disposed of properly and energy production does not lead to climate change. Our children must not come into contact with hazardous substances through toys or food. Landscapes and wildlife must not be affected by development.

The challenges we face are global challenges. They do not respect national borders. The degradation of environmental factors in some countries can affect the environment and influence quality of life in others. We cannot solve environmental problems alone, but a sustained, international effort is needed in which we all have a role to play - as individuals, employees and employers, governments, consumers and parents. It is about our future and that of our descendants.

The key to long-term well-being is "sustainability", finding new ways to improve the quality of life without degrading the environment for future generations.

## **Literature review**

### **Environment, pollution and environmental protection**

Although the term 'environment' has been used for a long time and with multiple meanings, apparently to the point of erosion and devaluation, it needs to be updated in contemporary society, at a time when the sharp degradation of the quality of the earth's structures is sometimes reaching alarming levels. The term 'environment' originally originated from the English noun 'environment', which was then used in French as 'l'environnement' and in other languages, and was intended to designate the space surrounding human beings. In the legal literature and existing regulations in various countries and in some documents of international organizations, terms such as "biological environment" or "ambient environment" or even "human environment" are used as variants of the environment. The environment has been defined in Le Grand Larousse as "all the natural and artificial elements that condition human life". Although he notes that the environment cannot be defined in a strictly legal sense, however, taking into account the formulations used in specialized literature and those found in legislation, Professor Ernest Lupan defines the environment as "the totality of natural factors and those created by human activities which, in close interaction, influence the ecological balance, determine the conditions of life for humans and the conditions of development of human society as a whole" [1]. Many natural, social and economic sciences address environmental issues, but from unilateral, limited points of view. As Mrs. Irina Ungureanu points out, geography is the only science able to investigate in a complex and interactive way the whole issue of what we call "environment", in order to reach conclusions with objective

diagnostic value, of great fundamental and applied scientific importance [2]. Oriented by the nature of its object of study on the Earth as a unitary system, situated at the interface between natural and social sciences, geography is by right an environmental science, in the broadest sense of the word. Within geography, a discipline dedicated to the environment, environmental geography, has been developed, with geosystems as its specific object of study. The geosystem should be understood as defining the planet Earth with all its components - internal and external, abiotic, biotic and human - and the relationships between them, which give it the character of a cybernetic system. We can therefore say that when we refer to the environment we take into account the structure, dynamics and functionality of the systemically conceived environment (geosystem), with all its social-economic implications, with the need for continuous monitoring and awareness-raising of the entire human society.

The word 'pollution' is of Latin origin; *polluero-ere* means to defile, to defile, to defile. Pollution can be both the result/effect of natural phenomena and, more importantly, of human activity, when man 'dirties' his own environment. But pollution can be/is the result of the existence and activity of any living being, which "produces" waste, making life in the given environment difficult or even impossible. In other words, pollution is the act of intoxication produced by pollutants, and it is all the more serious the greater the difference between the concentration of the pollutant in the environment and the tolerance limit. Pollution - as a natural, but above all as an artificial phenomenon - appears as a barrier to economic and social development and at the same time constitutes a warning, drawing attention to the fact that natural resources cannot be exploited ruthlessly and irrationally for long, that natural, material and energy resources are not inexhaustible, that they must be used rationally and efficiently in the interests of people, without waste and with good thought. The multiplication of sources of pollution, the increase and diversification of forms of environmental pollution, of all the components of the natural and man-made environment, have led to the conclusion that pollution has become a permanent threat to human health and life, to all living things, and has hindered the normal course of economic and social activity. In today's world, when economies, countries and human societies no longer exist in isolation, but are mutually interconnected, the problem of environmental pollution - considered to be a disease of the 20th and 21st centuries - has taken on international significance and importance.

Although the idea of protecting nature is an ancient one, the seeds of which have been recognized since antiquity in certain philosophical and religious principles professed by enlightened representatives of various cultures in Asia and Europe, the multiple causes of pollution have, in recent decades, made environmental protection one of the most important and serious problems of humanity, affecting human life and the economic development of countries and the entire world; environmental protection serves to maintain the quantity and quality of life on Earth. Protecting the environment today corresponds to the burning desire and interests of the peoples of the whole world and is a duty of all governments [3]. Since the restoration of the ecological balance affected by pollution is no longer achieved automatically, through the spontaneous functioning of various natural factors - also due to the fact that in all areas the consequences of human activity are felt not only positive but also negative - all mankind must intervene consciously and effectively to restore the disturbed ecological balance, to protect the natural and anthropic environment. Thus, environmental protection can be defined as "a conscious, scientifically based human activity, directed towards the realization of a concrete goal, consisting in the prevention of pollution, maintenance and improvement of living conditions on Earth" [1]. Achieving real, multiply-beneficial and sustainable protection effects requires concerted action, from local to global, by social-educational, economic and political factors. The most appropriate actions are: the proper management of natural and human potential, the prevention of all forms of degradation and the conservation of the structures concerned. Each of these actions is strictly necessary, but not sufficient when taken individually, without the others they lose their effectiveness and meaning.

### **Sustainable development**

The Declaration on the Human Environment of the United Nations Conference on the Human Environment held in Stockholm on 16 June 1972, which, recognizing the fundamental human right to freedom, equality and adequate conditions of life, in an environment of a quality that permits people to live in dignity and well-being, proclaimed the related solemn duty to protect and improve the environment for present and future generations. This was only the beginning, since the 'rights of future generations' have been increasingly recognized in numerous international documents and in national regulations, in addition to and as an extension of the fundamental human right to a healthy environment. In 1986, the United Nations established the World Commission on Environment and Development to study the dynamics of environmental degradation and to provide solutions for the long-term viability of human society. The Brundtland Commission, in 1987, drafted and published "Our Common Future" (the Brundtland Report), which provided the first accepted definition of sustainable development as "development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs". The concept of sustainable development is the result of an integrated approach of policy and decision-makers, in which environmental protection and long-term economic growth are seen as complementary and mutually dependent. It implies a synergistic approach to economic, social and environmental policies.

Alongside economic and social development, environmental protection is one of the three interdependent and complementary pillars of sustainable development. The direction of the evolution of the geosystem as a whole depends, to a large extent, on how human society finds and implements those measures that lead to a balanced equilibrium between the sociosystem and the other components of the geosystem. Thus, in the case of maldevelopment, the development-society-environment relationship will spiral downwards, with maldevelopment having negative impacts on the environment and, by extension, on individuals in society, who in turn inhibit development, leading to environmental degradation. In the case of sustainable development, however, the development-society-environment relationship takes the form of an upward spiral, in which sustainable development contributes to protecting and even improving the environment, which in turn supports and enables development, which in turn supports and enables development, which in turn improves health and quality of life, making it possible to continue sustainable development [4].

### **Environmental sustainability**

Over time, there have been numerous meetings of heads of state and government global summits on sustainable development, at which principles and strategies have been set out and updated, targets have been set, and commitments have been made. Short-, medium- and long-term sustainable development goals have been set, as well as global goals for a sustainable and prosperous future, but unfortunately, these have not been fully achieved. There have been many adverse effects of pollution, manifested on a global scale, such as global warming and other climate changes, a growing decline in biodiversity, a predicted water crisis, a food crisis and the reaching of specific dangerous critical points for humanity. To respond to all these global challenges, moving beyond environmental protection goals to more complex ones leading to ecological sustainability is imperative. This approach is essential and requires a concerted effort from all of us - governments, institutions and businesses, civil society and every individual.

The transition from environmental protection to environmental sustainability represents a fundamental change in how we approach our relationship with nature. Thus, while environmental protection focuses on preventing and reducing pollution, conserving natural resources and protecting biodiversity and involves short-term solutions or regulations to



address immediate problems, environmental sustainability involves not only protecting resources but also ensuring a long-term balance between ecological conservation, economic development and social inclusion and focuses on long-term strategies, such as renewable energy, sustainable agriculture, and circular economies, that ensure resources are used responsibly and replenished [5-9]. While environmental protection utilises existing technologies to prevent or limit harm, environmental sustainability drives innovation in sustainable technologies and practices, promoting research and development in sustainable materials, green energy and waste reduction [10-14]. Regarding education and awareness, environmental protection focuses on raising awareness about environmental issues. In contrast, environmental sustainability promotes education that empowers individuals and communities to make sustainable choices, fostering a culture of sustainability. By moving towards environmental sustainability, resilient ecosystems and communities can be created that thrive in a healthy environment in harmony with nature and the planet. A comprehensive analysis for understanding the evolution and impact of environmental sustainability initiatives is presented in [5], providing valuable information that can inform future policy decisions, research and practical applications to promote a more sustainable and harmonious coexistence with our planet.

## **Conclusion**

A change of 'philosophy' in the way we produce and consume is imperative, moving from production and consumption at any price' to sustainable production and consumption, with 'environmental costs included in the price', thus avoiding passing the 'bill' on to others, in other geographical areas or the future. Sustainability is a proactive approach that is crucial for our survival and that of future generations. It implies a responsible commitment to the planet, conserving natural resources and ecosystems and maintaining ecological balance.

**Funding:** There is no source of funding.

**Conflict of interests:** no conflict of interest.

## **References**

1. Lupan E. Environmental law - general part (Dreptul mediului – partea generala). - Editura Lumina Lex, Bucuresti, 1996.
2. Ungureanu I. Environmental geography (Geografia mediului). - Editura Universitatii, Alexandru Ioan Cuza, Iasi, 2005.
3. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, 5-16 June 1972, Stockholm URL: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>
4. Josan N. Global Environmental Systems (Sisteme globale de mediu). - Editura Universitatii din Oradea, 2002.
5. Little J.C., Hester E.T., Carey C.C. Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review // Environ Sci Technol. American Chemical Society, 2016. Vol. 50, № 13. P. 6830–6845. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00298>
6. Javaid M. et al. Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability // Sustainable Operations and Computers. Elsevier, 2022. Vol. 3. P. 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
7. Oláh J. et al. Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability // Sustainability. 2020. Vol. 12, № 11. P. 4674. <https://doi.org/10.3390/su12114674>
8. Koul B., Yakoob M., Shah M.P. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability // Environ Res. Academic Press, 2022. Vol. 206. P. 112285. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>

9. Arora N.K. et al. Environmental sustainability: challenges and viable solutions // Environmental sustainability. 2018. Vol. 1. P. 309–340. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00038-w>
10. Islam N.F. et al. Encouraging circular economy and sustainable environmental practices by addressing waste management and biomass energy production // Regional Sustainability. Elsevier, 2024. Vol. 5, № 4. P. 100174. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2024.100174>
11. Shah H.H. et al. Environmental and economic sustainability of additive manufacturing: A systematic literature review // Sustain Prod Consum. Elsevier, 2024. Vol. 51. P. 628–643. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.10.012>
12. Das S. et al. Bacterial biofilm-mediated environmental remediation: Navigating strategies to attain Sustainable Development Goals // J Environ Manage. Academic Press, 2024. Vol. 370. P. 122745. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122745>
13. Gao L. et al. A short review of the sustainable utilization of coal gangue in environmental applications // RSC Adv. Royal Society of Chemistry, 2024. Vol. 14, № 53. P. 39285–39296. <https://doi.org/10.1039/d4ra06071g>
14. Patro A. et al. Recent approaches and advancement in biochar-based environmental sustainability: Is biochar fulfilling the sustainable development goals? // iScience. Elsevier, 2024. Vol. 27, № 9. P. 110812. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110812>
15. Tennakoon W.D.N.M.S., Janadari M.P.N., Wattuhewa I.D. Environmental sustainability practices: A systematic literature review // European Journal of Sustainable Development Research. - 2024. - Vol. 8, № 3. - P. em0259. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/14604>

**М. Ратиу**

*Орадя университеті, Румыния*

### **Қоршаған ортаны қорғаудан экологиялық тұрақтылыққа көшу**

**Аңдатпа:** Ластану көздерінің ұлғаюы, қоршаған ортаның ластану формаларының көбеюі және әртараптандырылуы қоршаған ортаны қорғауды адам өмірі мен елдердің және бүкіл әлемнің экономикалық дамуына әсер ететін соңғы онжылдықтардағы адамзаттың маңызды мәселелерінің біріне айналдырды. Қоршаған ортаны қорғау 1972 жылы Стокгольмдегі Біріккен Ұлттар Ұйымының адам қоршаған ортасы жөніндегі Конференциясының декларациясында бүкіл әлем халықтарының басты қалауы ретінде қабылданып, сонымен бірге барлық үкіметтердің міндетіне айнала отырып, Жердегі тіршіліктің саны мен сапасын сақтауға қызмет етеді. Экономикалық және әлеуметтік дамумен қатар, қоршаған ортаны қорғау Дүниежүзілік қоршаған орта және даму комиссиясының Брутланд баяндамасында болашақ ұрпақтың өз қажеттіліктерін қанағаттандыру қабілетіне нұқсан келтірместен қазіргі ұрпақтың қажеттіліктерін қанағаттандыратын Даму ретінде алғаш рет анықталған тұрақты дамудың өзара тәуелді және бірін-бірі толықтыратын үш тірегінің бірі болып табылады. Тұрақты дамудың нақты және шектеулі мақсаттары, тұрақты және гүлденген болашақ үшін жаһандық мақсаттар белгіленді, бірақ қазір олар қиынға соғады, өйткені проблемалар барған сайын күрделі және қауіпті болып келеді. Жаһандық жылынудың әсерін барлық жерде көруге және сезінуге болады, Климаттық дағдарыс туралы жиі айтылады, биоәртүрлілік пен табиғат тұрақты түрде төмендейді, су дағдарысы, азық-түлік дағдарысы және қауіпті сыни нүктелер болжанады. Бұл тұрғыда қоршаған ортаны қорғаудан экологиялық тұрақтылыққа көшу қазіргі жаһандық сын — қатерлерге жауап беру үшін өте маңызды және бәрімізден-үкіметтерден, мекемелерден және компаниялардан, азаматтық қоғамнан және әрбір жеке адамнан келісілген күш-жігерді қажет етеді. Тұрақтылық-бұл біздің өмір сүруіміз бен болашақ ұрпақтарымыздың өмір сүруі үшін өте маңызды және планетаның жауапты міндеттемесін, Табиғи ресурстар мен экожүйелерді сақтауды және экологиялық тепе-теңдікті сақтауды білдіретін белсенді тәсіл.

**Түйін сөздер:** қоршаған орта, ластану, қоршаған ортаны қорғау, тұрақты даму, тұрақтылық.

**М. Ратиу**  
Университет Орадя, Румыния

## Переход от охраны окружающей среды к экологической устойчивости

**Аннотация.** Увеличение источников загрязнения, увеличение и диверсификация форм загрязнения окружающей среды сделали защиту окружающей среды одной из важнейших и серьезных проблем человечества в последние десятилетия, влияющих на жизнь человека и экономическое развитие стран и всего мира. Защита окружающей среды служит поддержанию количества и качества жизни на Земле, будучи принятой в Декларации Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде человека в Стокгольме в 1972 году как основное желание и интерес народов всего мира и в то же время становясь обязанностью всех правительств. Наряду с экономическим и социальным развитием, защита окружающей среды является одним из трех взаимозависимых и взаимодополняющих столпов устойчивого развития, впервые определенных в Докладе Брутланд Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию как развитие, которое удовлетворяет потребности нынешнего поколения, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Были установлены четкие и ограниченные по срокам цели устойчивого развития, глобальные цели для устойчивого и процветающего будущего, но теперь они оказываются неуправляемыми, поскольку проблемы становятся все более серьезными и опасными. Последствия глобального потепления можно увидеть и почувствовать повсюду, о климатическом кризисе говорят все чаще, биоразнообразии и природе неуклонно сокращаются, прогнозируется водный кризис, продовольственный кризис и опасные критические точки. В этом контексте переход от защиты окружающей среды к экологической устойчивости необходим для реагирования на современные глобальные вызовы и требует согласованных усилий от всех нас — правительств, учреждений и компаний, гражданского общества и каждого отдельного человека. Устойчивость — это проактивный подход, который имеет решающее значение для нашего выживания и выживания будущих поколений и подразумевает ответственную приверженность планете, сохранение природных ресурсов и экосистем и поддержание экологического баланса.

**Ключевые слова:** окружающая среда, загрязнение, охрана окружающей среды, устойчивое развитие, устойчивость.

### Information about the authors:

**M. Ratiu** - Lecturer of Department of Mechanical Engineering and Automotive, University of Oradea, 410087 Oradea, Romania.  
ORCID 0000-0002-7629-4995

**M. Pamuy** - преподаватель кафедры машиностроения и автомобилестроения, Университет Орадя, 410087 Орадя, Румыния.  
ORCID 0000-0002-7629-4995



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).











IRSTI 34.35.01

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-166-184>

Article

## Ecological and biological features of some rare and endemic plant species of south-east Kazakhstan

G.A. Sadyrova<sup>1\*</sup> , B.E. Shimshikov<sup>2</sup> , B.M. Tynybekov<sup>3</sup> ,  
A.S. Nurmakhanova<sup>4</sup> , K.S. Orazbekova<sup>5</sup> , M.B. Tastybay<sup>6</sup> ,  
M.T. Imanaliyeva<sup>7</sup> , N.A. Bekbossyn<sup>8</sup> 

<sup>1,2,3,4,6,7,8</sup>NP JSC «Al-Farabi Kazakh National University», Almaty, Kazakhstan

<sup>5</sup>Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: <sup>1</sup>[gulbanu-s@mail.ru](mailto:gulbanu-s@mail.ru), <sup>2</sup>[akmaral\\_1976@mail.ru](mailto:akmaral_1976@mail.ru), <sup>4</sup>[bshimshikov@gmail.com](mailto:bshimshikov@gmail.com),  
<sup>5</sup>[Kuralay\\_orazbekova@mail.ru](mailto:Kuralay_orazbekova@mail.ru), <sup>6</sup>[meruert.tastybai@mail.ru](mailto:meruert.tastybai@mail.ru),  
<sup>7</sup>[Ymanalyeva@mail.ru](mailto:Ymanalyeva@mail.ru), <sup>8</sup>[bekbossyn\\_naz15@mail.ru](mailto:bekbossyn_naz15@mail.ru))

**Abstract.** The article presents the results of ecological and biological analysis of species composition of five rare and endangered endemic plant species of southeastern Kazakhstan listed in the Red Book of the Republic of Kazakhstan. The importance of this research topic is determined by the need for a comprehensive and in-depth understanding of the ecological and biological characteristics of rare plant species growing in the southeast of Kazakhstan. The studies were conducted in the southeast of Kazakhstan (Zailiysky Alatau, Ketpen), where the objects of the study were representatives of rare and endangered endemic plant species: *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., from natural populations. The study of the state of the coenopopulation of rare and endemic plant species was carried out by route and semi-stationary methods. The novelty of the work is that for the first time the most complete ecological and biological characteristics of rare and endangered endemic plant species of the southeast of Kazakhstan are given, their biological features and habitat characteristics are studied. In the study area, 5 identified rare and endangered endemic plant species are represented by 2 types of life forms, where the predominant group among rare and endemic species is hemiocryptophytes (perennial plants) and one species is represented by a phanerophyte - a woody plant (*Betula jarmolenkoana*).

**Keywords:** rare and endangered endemic plant species, population, environmental factors, biodiversity.

Received: 12.09.2024. Accepted: 12.11.2024. Available online: 31.12.2024.

\* Corresponding author

## **Introduction**

Currently, the problem of preserving biodiversity has become the most pressing due to the increasing anthropogenic impact on the environment (Concept for the development and placement of specially protected natural areas until 2030 in the Republic of Kazakhstan; “Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to sustainable development for 2007-2024”; Law of the Republic of Kazakhstan dated 17.06.2008 N 43-IV “On ratification of the Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity”) [1]. The study of these species helps to learn their ecological and biological characteristics, distribution, and the reasons for their disappearance. This allows us to develop effective measures for the conservation and restoration of endangered plant species and their habitats. Nowadays, there is a significant depletion of the gene pool of plants of the natural flora, and especially relict species, some of which are rare and are on the verge of extinction. Relict plant species have great scientific value as a reliable source of information about the vegetation of past geological eras. Over 90% of recent human-caused extinctions are wild species known from only one nation. These nationally endemic species represent one of the greatest global conservation responsibilities for any country. To meet this responsibility, we must first identify nationally endemic species [2]. Rare and endangered plant species play an important role in maintaining the ecological balance, providing food, shelter, and medicinal resources for many animals, as well as humans. Studying these species helps to learn their ecological and biological characteristics, distribution, and the reasons for their extinction. This allows us to develop effective measures to preserve and restore endangered plant species and their habitats. Nowadays, there is a significant depletion of the gene pool of plants of the natural flora, and especially relict species, some of which are rare and are on the verge of extinction. Relict plant species have great scientific value as a reliable source of information about the vegetation of past geological eras.

The need to study the rare, endemic, and relict mountain flora of southeastern Kazakhstan in general and its constituent elements in particular is constantly increasing due to excessive and long-term exploitation of mountain pastures, leading in some cases to irreversible changes in biocenoses, reduction of habitats, and the disappearance of rare and endangered endemics and subendemics. The limited distribution characteristic of endemic species makes them very vulnerable to adverse natural and anthropogenic impacts. Intensive economic activity, which remains at a high level in the vicinity of populated areas even now, leads to the destruction of the natural habitat. As a result, there is a threat of destruction of individual species, especially rare ones and those with limited distribution. Solving practical problems of protecting scientifically and practically valuable plant species is impossible without studying biology, including an ecological assessment of the state of their populations.

Recently, there has been increased interest in the study of rare and endemic plant species among foreign researchers all over the world. [3-11]. Conservation of endemic species is becoming an important task for preserving the uniqueness and value of regional flora, such as the southeast of Kazakhstan.

The aim of this work was to study the bioecological features of rare and endangered endemic plant species of the southeast of Kazakhstan for further development of a strategy for their protection.

The main tasks were to study and research the ecology of species, the structure of their populations, the features of phenological development and the viability of individuals in a natural environment, and to develop recommendations for the protection of unique species of the southeast of Kazakhstan.



## Materials and methods

The material for this work was field research on the study of rare, endemic and endangered species of flora of the south-east of Kazakhstan. The object of the study was rare, endemic and endangered species of natural flora of the south-east of Kazakhstan. The main research method was route-reconnaissance. Collection and processing of herbarium material was carried out according to the generally accepted method of A.K. Skvortsov [12]. In the process of defining the herbarium, the following multi-volume summaries were used as sources: "Flora of Kazakhstan" [13], "Trees and shrubs of Kazakhstan" [14], "Key to plants of Middle Asia" [15], "Illustrated Identifier of Plants of Kazakhstan" [16]. The arrangement of species and supraspecific categories in the summary, disappearing rare, endemic and subendemic species was carried out according to the system of A.L. Takhtadzhyan [17,18]. To clarify the species and generic names, the latest summaries of S.K. Cherepanov, S.A. Abdulina [19, 20] were used. The types of life forms were carried out according to the classifications of K. Raunkier and I.G. Serebryakov [21]. When analyzing rare, endemic and subendemic species, the schemes developed by B.A. Bykov, A.I. Tolmachev and R.V. Kamelin were used [22, 23, 24].

## Results and discussion

The territory occupying the southeastern part of Kazakhstan is called Zhetysu, it includes the large mountain system of the Northern Tien Shan, which is of great interest to researchers. The Northern Tien Shan system includes the following ranges: Zailiysky Alatau, Kungei Alatau, Ketpen, Kyrgyz Alatau, Chu-Ili Mountains. The Northern Tien Shan is a relatively young mountainous country created by block uplifts and folding on the site of an old, previously existing, but strongly leveled one (Figure 1).

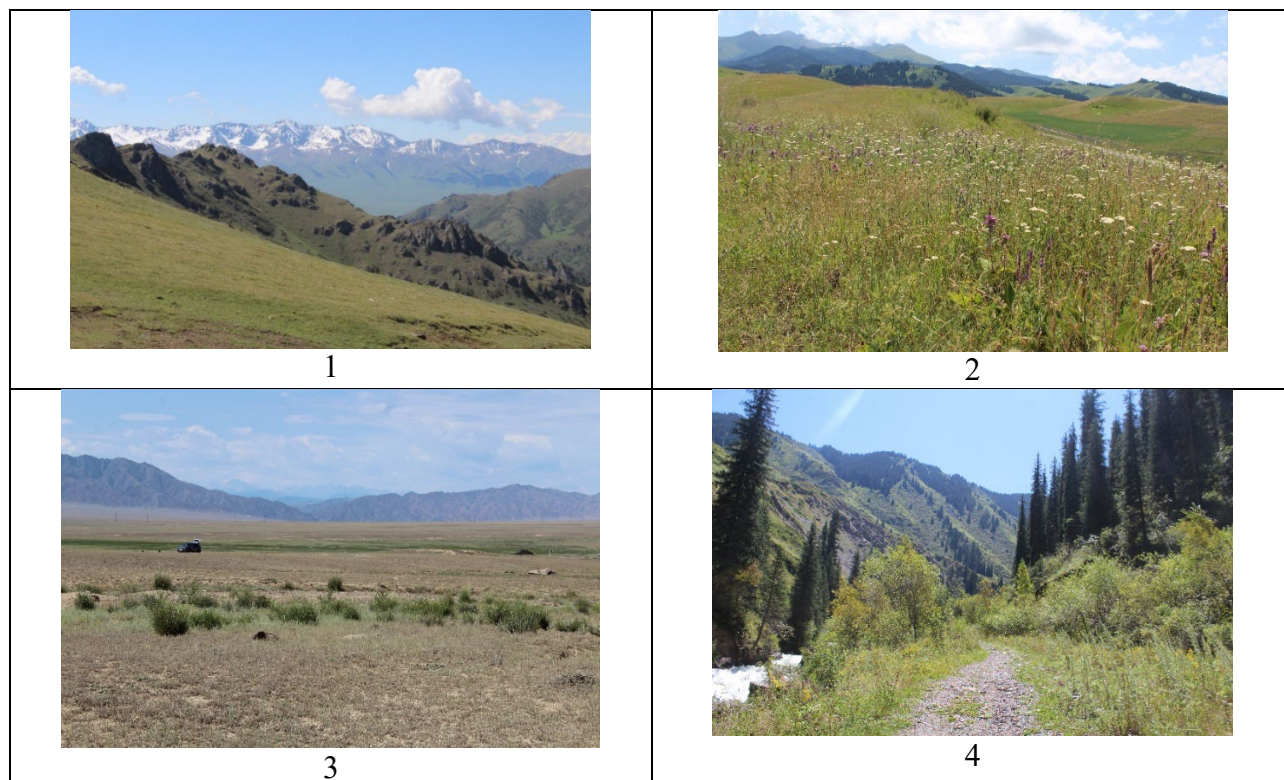
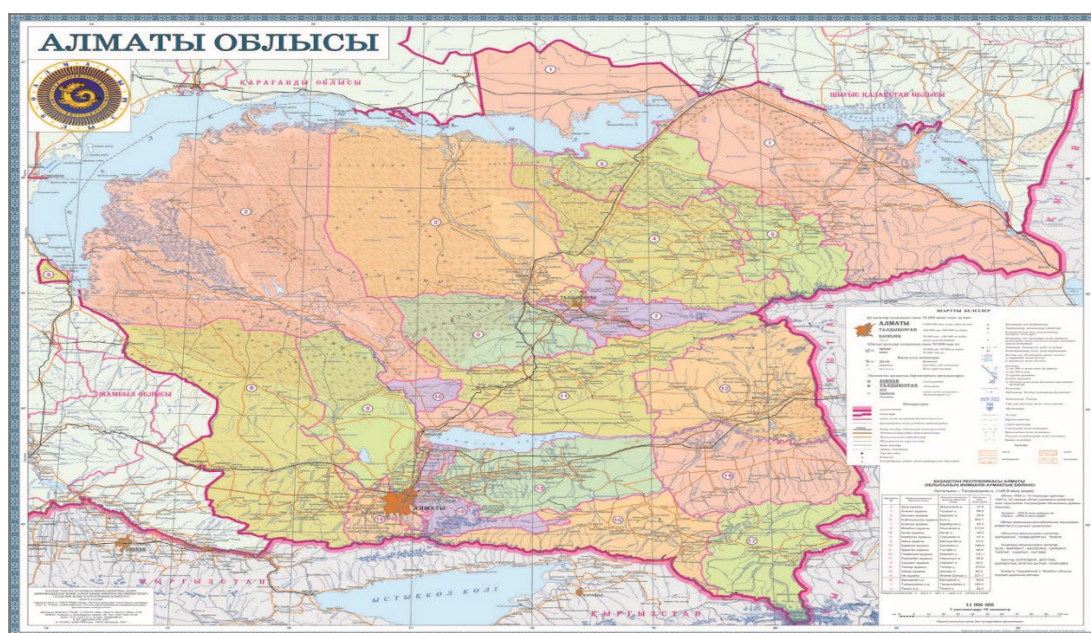


Figure 1. Ridges of the Northern Tien Shan 1. Ketpen ridge. 2. Kungei Alatau ridge. 3. Sugatinskaya Valley. 4. Zailiysky Alatau, Turgen gorge



Later, the uplifts and folds were subjected to various relief changes, especially river erosion. In addition, an important role in the formation of the high-mountain relief of the Northern Tien Shan was played by ancient glaciation, which left trough valleys and glacial cirques. The Northern Tien Shan has a very complex mountainous relief. Along with the main high ridges of the Zailiysky Alatau and Kungey-Alatau, there are intramountain depressions, valleys, foothill sloping plains and other relief forms. Thus, the Zailiysky Alatau in the eastern part behind the Talgar massif breaks up into a number of spurs (Sarytau, Karash, etc.), separated by intramountain depressions and plateaus. All three main groups of mountain relief types are represented in the Northern Tien Shan mountains: mountain complex, foothill complex and complex of relief types of intramountain depressions. The main difference of the first relief type is that it has a high position (over 3000 m) and occupies the watershed-central parts of the main ridges. A characteristic element of the second type are deep troughs - valleys, once occupied by a glacier, cutting through the mountain slopes [25]. Troughs are found on the northern and southern slopes of the Zailiysky Alatau and Kungey-Alatau. The intramountain depressions are plains raised to various absolute heights. These include the Ili and Kegen depressions. The crests of the watershed ranges are dissected relatively shallowly for the most part. Only the Talgar massif in the Zailiysky Alatau, the Choktal massif and the area of the Kant-Bas-Tau peak in the Kungey-Alatau and some lateral spurs are characterized by steep-sloping high-mountain relief. The climate features of the study area are determined by the fact that the territory of the Northern Tien Shan belongs to the desert zone [25].



**Figure 2. Map-scheme of Almaty region**

According to the diversity of natural and climatic conditions, conditions of heat and moisture supply, vegetation period, the territory of the Northern Tien Shan is divided into the following agroclimatic regions: 1. Very arid foothill-plain region, occupying a strip of foothill (submontane) plains. 2. Arid foothill region, is a foothill or "counters". 3. Mountainous region, starting from an altitude of 1200 - 1600 m. Changes in climatic conditions of the study area are subject to the law of vertical zonality (Figure 2) [26].

As a result of expeditionary surveys, locations of 5 rare and endangered endemic species of southeastern Kazakhstan were identified in different ecological and phytocenotic conditions (Figure 3).





1



2



3



4



5



6



7



8





**Figure 3. Rare, endemic and endangered plant species of the southeast of Kazakhstan 1. *Astragalus rubtzovii* Boriss. 2. Relict sands of Kumtekey. 3. Kegen valley. 4. *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin. 5. *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. 6. Big Almaty lake. 7. Bayankol River. Narynkol. 8. *Betula Jarmolenkoana* Golosk. 9. *Rheum wittrockii* Lundstr. 10. Big Almaty gorge**

Typical habitats of rare species - *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr., *Rheum wittrockii* Lundstr., *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Betula Jarmolenkoana* Golosk. are meadow and sandy soils of the upper alpine and middle forest belts. It is necessary to note the unusual habitat of the endemic species *Astragalus rubtzovii* Boriss., which grows on relict sands of the middle belt at an altitude of 1911 m above sea level.

**Table 1. Rare and endangered endemic species of the south-east of Kazakhstan *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., discovered during field research**

Species name	Geographical location	Location coordinates
<i>Astragalus rubtzovii</i> Boriss,	Almaty region, Ketpen ridge, relict sands "Kumtekey", mid-mountain.	42°56'031", 079°19'266", 1911 м above sea level.
<i>Taraxacum kok-saghyz</i> L.E. Rodin.	Almaty region, Ketpen ridge, in the Kegen valley, mid-mountain.	N43°03'495", E079°13'328" 1834 м above sea level.
<i>Schmalhausenia nidulans</i> (Regel) Petr.	Almaty region, Medeu district, Big Almaty lake, space station, north-eastern slope. Alpine belt.	43°02'430'', 76°56' 570'', 3260 м above sea level.
<i>Betula Jarmolenkoana</i> Golosk.	Almaty region, Ketpen ridge, Narynkol, Bayankol tugai, middle mountains.	43°09'402", 080°20'369", 2248 м above sea level.
<i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.	Almaty region, Medeu district, Big Almaty gorge, south-eastern slope.	43°04'504", 76°59'462", 2281 м above sea level.

Five rare and endangered endemic species of southeastern Kazakhstan identified during field studies: *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., are included in the Red Book of Kazakhstan (Table 1). They belong to 5 genera and 4 families (Table 2).

**Table 2. Species composition of rare and endangered endemic plant species of south-east Kazakhstan**

№	Family	Genus	Species
1.	Fabaceae	Astragalus	<i>Astragalus rubtzovii</i> Boriss.
2.	Asteraceae	Taraxacum Schmalhausenia	1. <i>Taraxacum kok-saghyz</i> L.E. Rodin. 2. <i>Schmalhausenia nidulans</i> (Regel) Petr.
3.	Betulaceae	Betula	<i>Betula Jarmolenkoana</i> Golosk.
4	Polygonaceae	Rheum	<i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.

The study of rare and endangered endemic species of southeastern Kazakhstan cannot be complete without an analysis of life forms, since its ecobiomorphological structure reflects the nature of plant adaptation to a set of environmental conditions that have developed in certain ecotopes and therefore its analysis serves as a reliable tool for understanding the ecology of a habitat. The basis for the analysis of life forms in our studies was the life form systems of I.G. Serebryakov [21]. The life form system of K. Raunkier is based on the adaptation of plants to enduring unfavorable conditions of low autumn-winter temperatures in regions with a cold climate and summer drought in arid regions. The main classification feature is: the location of renewal buds, and the degree of their protection, as well as their position in relation to the soil surface. The 5 rare and endangered endemic species we identified are represented by 2 types of life forms, these are perennial herbaceous plants with dying above-ground parts and one species - a tree. In relation to humidity, all rare and endangered endemic species of southeastern Kazakhstan that we discovered are divided into the following ecological groups: 1. in relation to plants' relation to humidity – mesophytes, which include plants of fairly humid habitats with a predominance of taproot species (*Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr., *Rheum wittrockii* Lundstr., *Betula Jarmolenkoana* Golosk.). 2. mesoxerophytes plants that are adapted to conditions that are lower than average for soil moisture reserves, i.e. they are intermediate between xeromesophytes and euxerophytes (*Astragalus rubtzovii* Boriss). *Astragalus rubtzovii* Boriss. is a typical psammophyte. Taproot perennials dominate in meadow cenoses and one woody plant grows in tugai. Psammophytic groups developing on desert sands within the study area of south-east Kazakhstan have a limited distribution in the Kegen and Saryzhaz valleys and represent a local type of vegetation. The study area of the Kum-Tekey sand massifs, where the rare endemic species *Astragalus rubtzovii* Boriss was found, is located in the Kegen valley near the Kegen river. This is a small island sand massif, with an area of 15 km<sup>2</sup>, located 12 km southeast of the village of Kegen, near the foot of the Chol-Adyr mountains at an altitude of 1911 m above sea level. Its vegetation is dominated by *Elymus giganteus*, which occupies the tops and slopes of sandy hillocks, and *Medicago falcata*, which occupies the depressions between the hillocks. Xerophilous shrubs and subshrubs, characteristic of the desert type of vegetation, are practically absent, except for rare and isolated specimens of *Kochia prostrata* and *Krascheninnikovia ceratoides*. The central part of the sand massif is noticeably higher than its periphery. Sand ridges, sometimes up to 10 m high, stretch from east to west, their slopes are steep. The regular arrangement of the ridges is disrupted by deflation of the sands, which occurs under the influence of intensive grazing of cattle from nearby villages. As a result of deflation, the sand ridges overgrown with vegetation are deformed into bare or almost bare sand mounds of various sizes and outlines [27]. According to M.S. Baitenov [28], the Kum-Tekey sand massif was formed during the interglacial period during the widespread melting of ice, which increased the living force of the Charyn River waters. The coenoecological confinement of *Astragalus rubtzovii* to dynamic sandy habitats gives grounds to consider the species a local neoendemic with a Quaternary age. It should be noted that due to excessive grazing pressure

on the relict sand massifs of Kum-Tekey, the species *Astragalus rubtzovii* is on the verge of extinction.

Below is a geobotanical description of plant communities with the participation of rare and endangered endemic species *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr., *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., identified in the southeast of Kazakhstan (Tables 3, 4).

**Table 3. Geobotanical characteristics of plant communities with the participation of rare endangered species *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. and *Rheum wittrockii* Lundstr. - Zailiysky Alatau, Big Almaty gorge of the Kumbel river**

Description number	1				
Date	02.08.2024				
Population area size, m <sup>2</sup>	25x25				
Woody plants					
Forest type	Spruce forests				
Tree-shrub community	Spruce forests				
Grassy community	Shrub-herb				
Herbaceous and subshrub layer					
Total projective cover, %	100				
Projective cover of trees, %	25				
Projective cover of shrubs, %	5-10				
Projective cover of grass cover, %	60-70				
Phenophase by species, according to B.A. Bykov	vegetation, fruiting				
Surface condition	Outcrops of parent rocks, rock outcrops, dead wood				
Degree of anthropogenic transformation	Average				
Degree of soil moisture	атмосферные осадки				
Geomorphology, location					
JPS coordinates of the terrain	N 43°15'267" E 77°45'676"				
Height above sea level m.,	3256				
Slope, degrees	45				
Exposition	North-Eastern				
Microrelief	Rolling, undulating, uneven elevations, lower part of the slope				
Macrorelief, м	Big Almaty gorge of the Kumbel river				
Floristic diversity					
Species name	Family	Abundance by Drude	Placement by B.A. Bykov	Height, m/cm	Phenophase
Latin name					
Tree layer					
<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. & C.A. Mey.	<i>Pinaceae</i>	cop1 (30-40%)	uneven	12-20	vegetat, fruiting
<i>Populus tremula</i> L.	<i>Salicaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	5-7	vegetat, fruiting
<i>Betula tianschanica</i> Rupr.	<i>Betulaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	3	vegetat, fruiting
<i>Sorbus tianschanica</i> Rupr.	<i>Rosaceae</i>	sp (1-3%)	singular, uneven	3-5	vegetat, fruiting
<i>Salix alata</i> Kar. ex Stschegl.	<i>Salicaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	5-7	vegetat, fruiting
Shrubs (projective coverage 10–20%)					

<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Cotoneaster oliganthus</i> Pojark.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Rosa alberti</i> Regel	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	in groups, unevenly	1,5	vegetat, fruiting
<i>Rosa beggeriana</i> Schrenk	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	in groups, unevenly	1,5	vegetat, fruiting
<i>Lonicera hispida</i> Pall. ex Schult.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	in groups	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Lonicera karelinii</i> Bunge ex P. Kir.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	in groups	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Lonicera stenantha</i> Pojark.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	in groups	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Lonicera microphylla</i> Willd. ex Schult.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	in groups	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Rubus idaeus</i> L.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	in groups	1,5-2	vegetat, fruiting
<i>Ribes meyeri</i> Maxim.	<i>Grossulariaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	1,5-2	vegetat, fruiting
Herbaceous-shrub layer (projective coverage: 15–20%)					
<i>Euonymus semenovii</i> Regel & Herder	<i>Celastraceae</i>	sp- sol (5-15%)	diffusely	0,5-1,5	vegetat, fruiting
<i>Phedimus hybridus</i> (L.) 't Hart. ( <i>Sedum hybridum</i> L.)	<i>Crassulaceae</i>	sp-cop (10-25%)	in groups, unevenly	5-10	vegetat, fruiting
<i>Hylotelephium ewersii</i> (Ledeb.) H.Ohba ( <i>Sedum ewersii</i> Ledeb.)	<i>Crassulaceae</i>	sp-cop (15-30%)	in groups, unevenly	7-15	vegetat, fruiting
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	<i>Ericaceae</i>	sol (2-5%)	singular, uneven	10	vegetat, fruiting
<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.	<i>Orchidaceae</i>	sol (1-5%)	singular	-	vegetat, fruiting
<i>Poa nemoralis</i> L.	<i>Poaceae</i>	sp (10-15%)	in groups, unevenly	30-40	vegetat, fruiting
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	70	vegetat, fruiting
<i>Fragaria vesca</i> L.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	vegetat, fruiting
<i>Mentha asiatica</i> Boriss.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	vegetat, fruiting
<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	vegetat, fruiting
<i>Poa pratensis</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	vegetat, fruiting
<i>Dracocephalum origanoides</i> Stephan.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	vegetat, fruiting
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	vegetat, fruiting
<i>Plantago major</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	veget, flowering, fruiting
<i>Prunella vulgaris</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	veget, flowering, fruiting
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	veget, flowering, fruiting
<i>Geranium albiflorum</i> L.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	veget, flowering, fruiting
<i>Geranium pratense</i> L.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	35	veget, flowering, fruiting
<i>Iris sogdiana</i> Bunge	<i>Iridaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	65	vegetat, fruiting
<i>Dracocephalum nutans</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	45	vegetat, fruiting
<i>Dracocephalum origanoides</i> Stephan.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	40	vegetat, fruiting



<i>Eremurus fuscus</i> (O. Fedtsch.) Vved.	<i>Asphodelaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	90	veget, flowering, fruiting
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	100	veget, flowering, fruiting
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	veget, flowering, fruiting
<i>Agropyron pectiniforme</i> Roemer & Schultes	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	80	veget, flowering, fruiting
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	90	veget, flowering, fruiting
<i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	100	veget, flowering, fruiting
<i>Schmalhausenia nidulans</i> (Regel) Petr.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	65	veget, flowering, fruiting
<i>Alfredia acantholepis</i> Kar. & Kir.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	100	veget, flowering, fruiting
<i>Helictotrichon tianschanicum</i> (Roshev.) Henrard.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	100	veget, flowering, fruiting
<i>Erigeron acris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	55	veget, flowering, fruiting
<i>Galium aparine</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	70	veget, flowering, fruiting
<i>Carex polyphylla</i> Kar. & Kir.	<i>Cyperaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	30	vegetat, fruiting
<i>Senecio nemorensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	65	veget, flowering, fruiting
<i>Senecio jacobaea</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly.	75	veget, flowering, fruiting
<i>Semenovia transiliensis</i> Regel & Herd.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	90	veget, flowering, fruiting
<i>Daucus carota</i> L.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	95	veget, flowering, fruiting
<i>Myosotis suaveolens</i> Waldst. & Kit. ex Willd.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	85	veget, flowering, fruiting
<i>Thalictrum petaloideum</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	65	vegetat, fruiting
<i>Ligularia macrophylla</i> (L.) DC.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	85	veget, flowering, fruiting
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.,	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	75	veget, flowering, fruiting
<i>Melilotus albus</i> Medikus.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	85	veget, flowering, fruiting
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-5%)	in groups, unevenly	85	veget, flowering, fruiting

**Table 4. Geobotanical characteristics of plant communities with the participation of rare endangered species *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., and *Betula Jarmolenkoana* Golosk., – Ketpen ridge, Kegen valley, Kum-Tekey sands, Narynkol, Bayankol tugai**

Description number	2
Date	19.08.2024
Population area size, m <sup>2</sup>	25x25
Woody plants	
Forest type	Spruce forests
Woody-shrubby community	Spruce forests
Grassy community	Shrub-forb
Herbaceous and subshrub layer	
Total projective cover, %	100

Projective cover of trees, %						20
Projective cover of shrubs, %						5-10
Projective cover of grass cover, %						80-90
Phenophase by species, according to B.A. Bykov						vegetation, beginning of fruiting
Surface condition						Outcrops of parent rocks, rock outcrops, grass
Degree of anthropogenic transformation						Average
Degree of soil moisture						atmospheric precipitation
Geomorphology, location						
JPS coordinates of the area						N 43°03'495" E 79°13'328"
Height above sea level m., m						1834
Slope, degrees						20
Exposition						North-Eastern
Microrelief, m						Rolling, undulating, uneven elevations, lower part of the slope
Macrorelief, m						Ketpen ridge, Kegen valley, Kum-Tekey sands, Narynkol, Bayanakol tugai.
Floristic diversity						
Species name	Family	Abundance by Drude	Placement by B.A. Bykov	Height, m/cm	Phenophase	
Latin name						
Tree layer						
<i>Betula jarmolenkoana</i> Golosk.	<i>Betulaceae</i>	cop1 (30-40%)	in groups. unevenly	20-30	veget. fruiting	
<i>Salix alata</i> Kar. ex Stschegl.	<i>Salicaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	5-7	veget. fruiting	
<i>Salix argyracea</i> E. Wolf.	<i>Salicaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	5-7	veget. fruiting	
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	<i>Elaeagnaceae</i>	sol (1-5%)	singular, uneven	3-7	veget. fruiting	
Shrubs (projective covering: 10–20%)						
<i>Cotoneaster oliganthus</i> Pojark.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	1,5-2	veget. fruiting	
<i>Rosa alberti</i> Regel	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	1,5	veget. fruiting	
<i>Berberis sphaerocarpa</i> Kar. & Kir.	<i>Berberidaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. fruiting	
<i>Caragana kirghisorum</i> Pojark.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. flowering, fruiting	
<i>Cerasus tianschanica</i> Pojark.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. flowering, fruiting	
<i>Clematis songarica</i> Bunge.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. flowering, fruiting	
<i>Juniperus sabina</i> L.	<i>Cupressaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. flowering, fruiting	
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i> (L.) Gueldenst.	<i>Chenopodiaceae</i>	sol (1-2%)	singular, uneven	1,5-2	veget. flowering, fruiting	

Herbaceous-shrub layer (projective covering): 15–20%					
<i>Elytrigia repens</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	70	veget. flowering, fruiting
<i>Geranium pratense</i> L.,	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	35	veget. flowering, fruiting
<i>Aster canescens</i> (Nees) Fisjun.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	50	veget. flowering, fruiting
<i>Inula rhizocephala</i> Schrenk.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	singular, uneven	10	veget. fruiting
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	in groups. unevenly	35	veget. fruiting
<i>Leymus racemosus</i> (Lam.) Tzvelev.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	85	veget. flowering, fruiting
<i>Onopordum acanthium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	95	veget. flowering, fruiting
<i>Astragalus rubtzovii</i> Boriss.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
<i>Lappula consanguinea</i> (Fisch. et Mey.) Gurke.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	75	veget. flowering, fruiting
<i>Erysimum diffusum</i> Ehrh.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	65	veget. flowering, fruiting
<i>Astragalus borodini</i> Krasn.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	40	veget. flowering, fruiting
<i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.	<i>Chenopodiaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	60	veget. flowering, fruiting
<i>Scutellaria paulsenii</i> V. Brig.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
<i>Astragalus karkarensis</i> M. Pop.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	35	veget. flowering, fruiting
<i>Ziziphora clinopodioides</i> Lam.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	30	veget. flowering, fruiting
<i>Carex turkestanica</i> Regel.	<i>Cyperaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
<i>Medicago falcata</i> L.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting

Artemisia sieversiana Willd.	Asteraceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
Achnatherum splendens (Trin.) Nevski.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	75	veget. flowering, fruiting
Elytrigia repens L.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	55	veget. flowering, fruiting
Leymus racemosus (Lam.) Tzvelev.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	85	veget. flowering, fruiting
Astragalus rubtzovii,	Fabaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
Elymus giganteus Vahl.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	70	veget. flowering, fruiting
Bromopsis inermis (Leyss.) Holub	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	35	veget. flowering, fruiting
Capsella-bursa-pastoris (L.) Medik.	Brassicaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting
Secale silvestre Host.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
Thymus marschallianus Willd.	Lamiaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting
Thymus stepposus Klokov & Des. Shost.	Lamiaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting
Lappula microcarpa (Ledeb.) Gürke	Boraginaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
Allium pallasii Murray	Alliaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	30	veget. flowering, fruiting
Lappula macrocarpa (Ledeb.) Gürke	Boraginaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting
Festuca ganeschini Drob.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
Stipa capillata L.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	15	veget. flowering, fruiting
Carex turkestanica Regel.	Cyperaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	10	veget. flowering, fruiting
Corispermum hyssopifolium L.	Chenopodiaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
Melandrium viscosum (L.) Pers.	Caryophyllaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	30	veget. flowering, fruiting

<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	Caryophyllaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	10	veget. flowering, fruiting
<i>Delphinium iliense</i> Huth	Ranunculaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
<i>Meniocus linifolius</i> (Stephan ex Willd.) DC.	Brassicaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
<i>Astragalus scabrisetus</i> Bong.	Fabaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
<i>Astragalus karkarensis</i> Popov	Fabaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	25	veget. flowering, fruiting
<i>Potentilla orientalis</i> Juz.	Rosaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	35	veget. flowering, fruiting
<i>Cynoglossum officinale</i> L.	Boraginaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
<i>Salsola collina</i> Pall.	Chenopodiaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	30	veget. flowering, fruiting
<i>Scutellaria sieversii</i> Bunge	Lamiaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
<i>Linaria bungei</i> Kuprian.	Scrophulariaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	40	veget. flowering, fruiting
<i>Orobanche caesia</i> Rchb.	Scrophulariaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	20	veget. flowering, fruiting
<i>Scorzonera inconspicua</i> Lipsch. ex-Pavlov.	Asteraceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	60	veget. flowering, fruiting
<i>Heteropappus canescens</i> (Nees) Novopokr.	Asteraceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	40	veget. flowering, fruiting
<i>Scabiosa ochroleuca</i> L.	Dipsacaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	70	veget. flowering, fruiting
<i>Festuca valesiaca</i> Gaudin.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting
<i>Poa pratensis</i> L.	Poaceae	sol (1-3%)	in groups. unevenly	45	veget. flowering, fruiting

The flora of the studied populations of rare and endangered endemic species *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr., *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., in the southeast of Kazakhstan includes 107 species belonging to 68 genera and 27 families. Characteristic marker species are *Picea schrenkiana* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Melilotus albus* Medikus. *Berteroa incana*, *Poa pratensis* L., *Poa annua* L., *Dactylis glomerata* L., *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Geranium transversale* (Kar. & Kir.) Vved., *Geranium divaricatum* Ehrh., *Artemisia vulgaris* L., *Arctium lappa* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Xanthium strumarium*

L. The presence of weed species: *Urtica cannabina* L., *Arctium lappa* L., *Xanthium strumarium* L., confirms the high anthropogenic load on natural phytocenoses.

Ecological and biological analysis confirmed the mesophytic and meso-xerophytic nature of the mountain flora of meadow habitats of populations of rare and endangered endemic plant species *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., south-east of Kazakhstan. The main limiting factors that significantly restrict the dispersal of the species are high competition in phytocenoses, anthropogenic load, strict ecological confinement.

## Conclusion

Thus, the studies of natural populations of rare and endemic plant species: *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., growing in the territory of southeastern Kazakhstan, showed that they are found in different plant communities. The studied species, with the exception of the woody plant *Betula Jarmolenkoana* Golosk., mainly belong to perennial polycarpic plants growing in forest and alpine zones, they are characterized by a certain morphological structure that determines their adaptive potential, they exhibit high adaptive abilities, which indicates their significant ecological plasticity and can form the basis for their introduction into culture. In the studied territory of the Ketpen ridge and Zailiyskiy Alatau, endemic, subendemic and rare plant species are represented by 2 types of life forms, where the predominant group among endemic, subendemic and rare species is hemiocryptophytes and one representative of phanerophytes

**There are no conflicts of interest.** All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

**Funding:** This study was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant IRN AP23490247 "Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the degree of degradation of pasture ecosystems in the southeast of Kazakhstan for the implementation of Sustainable Development Goal 15.").

**The contribution of the authors:** Conceptualisation – G.A. Sadyrova and B.E. Shimshikov; methodology – M.T. Imanaliyeva, M.B. Tastybay and N.A. Bekboson; validation – A.S. Nurmakhanova and K.S. Orazbekov; research – G.A. Sadyrova and B.M. Tynybekov; preparation of the initial version - G. A. Sadyrova and B. E. Shimshikov; writing and editing the review - G.A. Sadyrova. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## References

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Kazakhstan dated August 19, 1994 N 918.
2. Daniel Kraus, Amie Enns, Andrea Hebb, Stephen Murphy, D. Andrew R. Drake, Bruce Bennett Prioritizing nationally endemic species for conservation // Journal of Conservation Biology. – 2022. – Vol. 5. <https://doi.org/10.1111/csp2.12845/>.
3. Nawal Shrestha, Achyut Tiwari, Prakash Kumar. Paudel Assessing conservation priorities of endemic seed plants in the central Himalaya (Nepal): A complementarity and phylogenetic diversity approach // Biological Conservation. – 2021. – Vol. 261. – 109274. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109274>.
4. Yinbo Zhang, Guangyu Wang, Hongfei Zhuang, Lanhui Wang, John Innes, Keping Ma. Integrating hotspots for endemic, threatened and rare species supports the identification of priority areas for



- vascular plants in SW China // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – Vol. 484. – 118952. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118952>
5. Kani Işık. Rare and endemic species: why are they prone to extinction? // *Turkish Journal of Botany*. – 2011. – Vol. 35 (4). <https://doi.org/10.3906/bot-1012-90>.
6. Natacha Coelho, Sandra Gonçalves, Anabela Romano. Endemic Plant Species Conservation: Biotechnological Approaches. // *Plants*. – 2020. – 9(3): 345. <https://doi: 10.3390/plants9030345>.
7. Helena Cristina Serrano, Manuel João Pinto, Cristina Branquinho, Ecology as a Tool to Assist Conservation of a Rare and Endemic Mediterranean Plantago Species // *Front. Ecol. Evol., Sec. Conservation and Restoration Ecology*. – 2021. – Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.614700>.
8. Renato A. Ferreira de Lima, Vinícius Castro Souza, Marinez Ferreira de Siqueira, Hans ter Steege. Defining endemism levels for biodiversity conservation: Tree species in the Atlantic Forest hotspot. // *Biological Conservation*. – 2020. – Vol. 252. – 108825. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108825>.
9. Hobohm C., Barker N. Centers of Endemism and The Potential of Zoos and Botanical Gardens in Conservation of Endemics // *Journal of Zoological and Botanical Gardens*. – 2023. – Vol. 4, № 3. – P. 527–548. <https://doi.org/10.3390/jzbg4030038>.
10. Loehle C. Endemic Plant Distributions in Eastern North America: Implications for Conservation // *Journal of Forestry*. – 2006. – Vol. 104, № 8. – P. 415–418. <https://doi.org/10.1093/jof/104.8.415>.
11. James H. Locklear. Endemic plants of the central grassland of North America // *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. – 2017. – Vol. 11 (1). – P. 193-234. <https://www.jstor.org/stable/26549465>.
12. Skvortsov A.K. Gerbariy [Herbarium] (M., 1977, 199 p.) [in Russian]
13. Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan] (Alma-Ata, V.V. 1-9 (1956 – 1966). [in Russian]
14. Derev'ya i kustarniki Kazakhstana [Trees and shrubs of Kazakhstan] (Alma-Ata, V.V. 1-2 (1966). [in Russian]
15. Opredelitel' rasteniy Sredney Azii [Key to plants of Middle Asia] (Tashkent: FAN, V.V. 1-10 (1968-1993). [in Russian]
16. Illyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Kazakhstana [Illustrated guide to plants of Kazakhstan] (Alma-Ata, V.V. 1-2 (1962-1975). [in Russian]
17. Takhtadzhyan A.L. Proiskhozhdeniye i rasseleniye tsvetkovykh rasteniy [Origin and dispersal of flowering plants] (L., 1970, 145 p.) [in Russian]
18. Takhtadzhyan A.L. Floristicheskiye oblasti Zemli [Floristic regions of the Earth] (L., 1978, 248 p.) [in Russian]
19. Cherepanov S.K. Sosudistyeye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)] S.-Pb, 990 p. 1995) [in Russian]
20. Abdulina S.A. Sosudistyeye rasteniya Kazakhstana [Vascular plants of Kazakhstan] (Almaty, 1998, 188 p.) [in Russian]
21. Serebryakov I. G. Ekologicheskaya morfologiya rasteniy [Ecological morphology of plants] (M., 1962, 378 p.) [in Russian]
22. Bykov B.A. O kolichestvennoy otsenke endemizma. Botanicheskiye materialy gerbariya instituta botaniki AN Kaz SSR [On the quantitative assessment of endemism. //Botanical Materials of the Herbarium of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR] (Alma-Ata, 1979, P. 3 – 8) [in Russian]
23. Tolmachev A.I. Puti formirovaniya rastitel'nosti vysokogornyykh landshaftov. Botanicheskiy zhurnal AN SSSR [Ways of formation of vegetation of high-mountain landscapes. //Botanical Journal of the USSR Academy of sciences] (Alma-Ata, 1948, 2 (33), 174 p.) [in Russian]
24. Kamelin R.V. Florogeneticheskiy analiz yestestvennoy flory gornoy Sredney Azii [Florogenetic analysis of the natural flora of mountainous Central Asia] (Leningrad, 1973, 354 p.) [in Russian]
25. Rybin N.G. Ustroystvo poverkhnosti Kazakhstana. Ocherki po fizicheskoy geografii Kazakhstana [Structure of the surface of Kazakhstan. Essays on the physical geography of Kazakhstan] (Alma-Ata, 1982, pp. 3 – 59) [in Russian]
26. <https://nkgf.kz/product/karta-almatinskoy-oblasti-m-ba-11000-000-s-lam> 46 / 5 000 [map-almaty-region-m-ba-11000-000-s-lam] [in Russian]

27. Rubtsov N.I. Reliktovyye peski v gorakh Severnogo Tyan'-Shanya. Vestnik AN KazSSR [Relict sands in the mountains of Northern Tien Shan. //Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR] (Alma-Ata, 1948, 4 (37), pp. 76 – 79) [in Russian]

28. Baitenov M.S. Astragalus rubtzovii Boriss. – lednikovyy relikт Tyan'-Shanya. Botanicheskiye Materialy Gerbariya Instituta botaniki AN KazSSR [Astragalus rubtzovii Boriss. – glacial relic of Tien Shan //Botanical Materials of the Herbarium of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR] (Alma-Ata, 1975, p. 27) [in Russian]

**Г. Садырова<sup>1\*</sup>, Б. Шимшиков<sup>2</sup>, Б.Тыныбеков<sup>3</sup>, А. Нурмаханова<sup>4</sup>,  
К. Оразбекова<sup>5</sup>, М.Тастыбай<sup>6</sup>, М. Иманалиева<sup>7</sup>, Н. Бекбосын<sup>8</sup>**

<sup>1,2,3,4,6,7,8</sup>КеАҚ «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті», Алматы, Қазақстан

<sup>5</sup>География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

### **Оңтүстік-Шығыс Қазақстандағы сирек және эндемикалық өсімдіктер түрлерінің экологиялық және биологиялық ерекшеліктері**

**Андатпа.** Мақалада Қазақстан Республикасының Қызыл кітабына енгізілген оңтүстік-шығыс Қазақстанның сирек кездесетін және жойылып кету қауіпі төнген эндемикалық өсімдіктерінің түр құрамына экологиялық-биологиялық талдау нәтижелері берілген. Бұл зерттеу тақырыбының маңыздылығы Қазақстанның оңтүстік-шығысында өсетін сирек кездесетін өсімдік түрлерінің экологиялық және биологиялық ерекшеліктерін жан-жақты және терең білу қажеттілігімен анықталады. Зерттеу Қазақстанның оңтүстік-шығысында (Іле Алатауы, Кетпен) жүргізілді, мұнда зерттеу объектісі табиғи популяциялардан сирек және жойылып бара жатқан эндемикалық өсімдіктер түрлерінің өкілдері болды: *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum koksaghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr. Сирек және эндемикалық өсімдік түрлерінің ценопопуляциясының жағдайын зерттеу маршруттық және жартылай стационарлық әдістерді қолдану арқылы жүргізілді. Жұмыстың жаңалығы алғашқы рет Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы сирек кездесетін және жойылып бара жатқан эндемикалық өсімдік түрлерінің ең толық экологиялық-биологиялық сипаттамалары беріліп, олардың биологиялық ерекшеліктері мен тіршілік ету ортасынын зерттеу болып табылды. Зерттелетін аумақта сирек кездесетін және жойылып кету қауіпі төнген 5 эндемикалық өсімдік түрі, тіршілік формасының 2 түрімен ұсынылған, сонымен қоса мұнда сирек және эндемиялық түрлердің арасында басым топ гемиокриптофиттер (көпжылдық өсімдіктер) және фанерофиттің бір түрі – сүректі өсімдік (*Betula Jarmolenkoana*) болып табылады.

**Түйін сөздер:** сирек және жойылып бара жатқан эндемикалық өсімдіктер түрлері, экологиялық факторлар, популяциясы, биологиялық әртүрлілік.

**Г. Садырова<sup>1\*</sup>, Б. Шимшиков<sup>2</sup>, Б.Тыныбеков<sup>3</sup>, А. Нурмаханова<sup>4</sup>,  
К. Оразбекова<sup>5</sup>, М.Тастыбай<sup>6</sup>, М. Иманалиева<sup>7</sup>, Н. Бекбосын<sup>8</sup>**

<sup>1,2,3,4,6,7,8</sup>Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

### **Эколого-биологические особенности некоторых редких и эндемичных видов растений юго-востока Казахстана**

**Аннотация.** В статье представлены результаты эколого-биологического анализа видового состава пяти редких и находящихся под угрозой исчезновения эндемичных видов растений юго-востока Казахстана, занесенных в Красную книгу Республики Казахстан. Важность данной темы исследования определяется необходимостью всестороннего и глубокого познания эколого-биологических особенностей редких видов растений, произрастающих на юго-востоке Казахстана. Исследования проведены на территории юго-востока Казахстана (Заилийский

Алатау, Кетпен), где объектом исследования явились представители редких и исчезающих эндемичных видов растений: *Astragalus rubtzovii* Boriss, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin., *Schmalhausenia nidulans* (Regel) Petr. *Betula Jarmolenkoana* Golosk., *Rheum wittrockii* Lundstr., из природных популяций. Изучение состояния ценопопуляции редких и эндемичных видов растений проводилось маршрутным и полустационарным методами. Новизна работы заключается в том, что впервые дана наиболее полная эколого-биологическая характеристика редких и исчезающих эндемичных видов растений юго-востока Казахстана, изучены их биологические особенности и характеристика местообитаний. На исследуемой территории 5 выявленных редких и исчезающих эндемичных видов растений представлены 2 типами жизненных форм, где преобладающей группой среди редких и эндемичных видов является гемикриптофиты (многолетние растения) и один вид представлен фанерофитом - древесным растением (*Betula jarmolenkoana*).

**Ключевые слова:** редкие и находящиеся под угрозой исчезновения эндемичные виды растений, популяция, экологические факторы, биоразнообразие.

### **Information about authors:**

**Sadyrova G.A.** – Doctor of Biological Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-4717-4249

**Shimshikov B.E.** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the UNESCO Department of Sustainable Development, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Tynybekov B.M.** – Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-5203-6713

**Nurmakhanova A.S.** - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-6925-9964

**Orazbekova K.S.** – PhD Doctor of Philosophy, Senior Researcher, Laboratory of Geotourism and Geomorphology, Institute of Geography and Water Security, Pushkin Street 99, Almaty 050010, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-1358-2260

**Imanaliyeva M.T.** - 2nd year doctoral student, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-2733-9130

**Tastybay M.B.** - 2nd year doctoral student, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-9207-2981

**Bekbossyn N.S.** - 2nd year master's student, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi KAZNU, Al-Farabi Avenue 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0009-0001-4187-1000

**Садырова Г.А.** – биология ғылымдарының докторы, ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-4717-4249

**Шимшиков Б.Е.** – биология ғылымдарының кандидаты, ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының доценті, ҚазҰУ. Әл-Фараби, Әл-Фараби даңғылы 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Тыныбеков Б.М.** – биология ғылымдарының кандидаты, биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-5203-6713

**Нұрмаханова А.С.** – биология ғылымдарының кандидаты, биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының доценті. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-6925-9964

**Оразбекова Қ.С.** – философия ғылымдарының докторы, География және су қауіпсіздігі институтының «Геотуризм және геоморфология» зертханасының аға ғылыми қызметкері, Пушкин көшесі, 99, Алматы, 050010, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-1358-2260

**Иманалиева М.Т.** - биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының 2 курс докторанты. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0002-2733-9130

**Тастыбай М.Б.** –биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының 2 курс докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0000-0001-9207-2981

**Бекбосын Н.С.** - биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының 2 курс магистранты Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

ORCID 0009-0001-4187-1000



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Редакторы: **Н.Е. Рамазанова, Э.Е. Копишев, Ж.Г. Берденов**

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

Химия. География. Экология сериясы.

– 4 (149)/2024 – Астана: ЕҰУ. 185 б.

Шартты б.т. – 17.75. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 31.12.2024

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulchmed.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 31-413)  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды