



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

BULLETIN

OF THE KARAGANDA UNIVERSITY

**BIOLOGY.
MEDICINE.
GEOGRAPHY**
Series

2024 • Volume 29 • Issue 1(113)

ISSN-L 2518-7201 (Print)

ISSN 2663-5003 (Online)

Индексі 74620

Индекс 74620

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN

OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY

БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ГЕОГРАФИЯ сериясы

Серия БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ГЕОГРАФИЯ

BIOLOGY. MEDICINE. GEOGRAPHY Series

2024

29-том • 1(113)-шығарылым

Том 29 • Выпуск 1(113)

Volume 29 • Issue 1(113)

1996 жылдан бастап шығады

Издается с 1996 года

Founded in 1996

Жылына 4 рет шығады

Выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Қарағанды / Караганда / Karaganda

2024

Бас редакторы

PhD д-ры

А.Г. Жумина

Жауапты хатшы

PhD д-ры

С.Е. Тулегенова

Редакция алқасы

М. Броди,	PhD д-ры, Америка университеті, Вашингтон (АҚШ);
Р.Г. Оганесян,	PhD д-ры, Пенсильвания университеті, Филадельфия (АҚШ);
К.-Д. Конерт,	мед. ғыл. д-ры, Диабет институты, Карлсбург (Германия);
Аммад Ахмад Фаруки,	PhD д-ры, Биомедициналық және генетикалық инженерия институты, Исламабад (Пакистан);
С.В. Кушнаренко,	биол. ғыл. канд., Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы (Қазақстан);
Г.Г. Мейрамов,	мед. ғыл. д-ры, акад. Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті (Қазақстан);
А.В. Панин,	геогр. ғыл. д-ры, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті (Ресей);
Р.Т. Бексеитова,	геогр. ғыл. д-ры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы (Қазақстан);
О.Л. Макарова,	биол. ғыл. канд., РҒА А.Н. Северцов атындағы Экология және эволюция институты, Мәскеу (Ресей);
Д.В. Черных,	геогр. ғыл. д-ры, РҒА СБ Су және экологиялық мәселелер институты, Барнаул (Ресей); шақырылған редактор;
Г.А. Атажанова,	хим. ғыл. д-ры, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды (Қазақстан); шақырылған редактор

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

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

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

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

Атқарушы редактор

PhD д-ры **Г.Б. Саржанова**

Редакторлары

Ж.Т. Нурмуханова, С.С. Балкеева, И.Н. Муртазина

Компьютерде беттеген

М.С. Бабатаева

Қарағанды университетінің хабаршысы. «Биология. Медицина. География» сериясы. — 2024. — 29-т., 1(113)-шығ. — 198 б. — ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

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

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

Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды. Пішімі 60×84 1/8. Қағазы офсеттік. Көлемі 24,75 б.т. Таралымы 200 дана. Бағасы келісім бойынша. Тапсырыс № 18.

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

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

© Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, 2024

Главный редактор

д-р PhD

А.Г. Жумина

Ответственный секретарь

д-р PhD

С.Е. Тулегенова

Редакционная коллегия

М. Броди,	д-р PhD, Американский университет, Вашингтон (США);
Р.Г. Оганесян,	д-р PhD, Пенсильванский университет, Филадельфия (США);
К.-Д. Конерт,	д-р мед. наук, Институт Диабета, Карлсбург (Германия);
Аммад Ахмад Фаруки,	д-р PhD, Институт биомедицинской и генетической инженерии, Исламабад (Пакистан);
С.В. Кушнарченко,	канд. биол. наук, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы (Казахстан);
Г.Г. Мейрамов,	д-р мед. наук, Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова (Казахстан);
А.В. Панин,	д-р геогр. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия);
Р.Т. Бексеитова,	д-р геогр. наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы (Казахстан);
О.Л. Макарова,	канд. биол. наук, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва (Россия)
Д.В. Черных,	д-р геогр. наук, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул (Россия); гостевой редактор;
Г.А. Атажанова,	д-р хим. наук, Медицинский университет Караганды (Казахстан); гостевой редактор

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

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

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

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

Исполнительный редактор

д-р PhD **Г.Б. Саржанова**

Редакторы

Ж.Т. Нурмуханова, С.С. Балкеева, И.Н. Муртазина

Компьютерная верстка

М.С. Бабатаева

Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». — 2024. — Т. 29, вып. 1(113). — 198 с. — ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

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

Зарегистрировано Министерством информации и общественного развития Республики Казахстан.

Свидетельство о постановке на переучет № KZ32VPY00027389 от 30.09.2020 г.

Подписано в печать 29.03.2024 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Объем 24,75 п.л. Тираж 200 экз.

Цена договорная. Заказ № 18.

Отпечатано в типографии издательства НАО «Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова».

100024, Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28. Тел. (7212) 35-63-16. E-mail: izd_kargu@mail.ru

© Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова, 2024

Chief Editor

PhD

A.G. Zhumina

Responsible secretary

PhD

S.E. Tulegenova

Editorial board

M. Brody,	PhD, American University, Washington, DC (USA);
R.G. Oganesyan,	PhD, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA (USA);
K.-D. Kohnert,	MD, German Diabetes Center, Karlsburg (Germany);
Ammad Ahmad Farooqi,	PhD, Institute of Biomedical and Genetic Engineering (IBGE), Islamabad, Pakistan;
S.V. Kushnarenko,	Cand. of biology, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty (Kazakhstan);
G.G. Meyramov,	MD, Karagandy University of the name of acad. E.A. Buketov (Kazakhstan);
A.V. Panin,	Doctor of geography, M.V. Lomonosov Moscow State University (Russia);
R.T. Bekseitova,	Doctor of geography, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan);
O.L. Makarova,	Cand. of biology, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Mos- cow (Russia);
D.V. Chernykh,	Doctor of Geographical sciences, Institute for Water and Environmental Problems of, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul (Russia); Guest Editor;
G.A. Atazhanova,	Doctor of Chemical sciences, Karaganda Medical University, Karaganda (Kazakhstan); Guest Editor

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

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

E-mail: bulletin_karsu_biology@mail.ru

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

Executive Editor

PhD **G.B. Sarzhanova**

Editors

Zh.T. Nurmukhanova, S.S. Balkeyeva, I.N. Murtazina

Computer layout

M.S. Babatayeva

Bulletin of the Karaganda University. "Biology. Medicine. Geography" Series. — 2024. — Vol. 29, Iss. 1(113). — 198 p. — ISSN-L 2518-7201 (Print). ISSN 2663-5003 (Online).

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

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

Signed in print 29.03.2024. Format 60×84 1/8. Offset paper. Volume 24,75 p.sh. Circulation 200 copies. Price upon request. Order № 18.

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

© Karagandy University of the name of acad. E.A. Buketov, 2024

МАЗМҰНЫ — СОДЕРЖАНИЕ — CONTENT

БИОЛОГИЯ BIOLOGY

<i>Aitbekov R.N., Zhumina A.G. Danilenko M.P.</i> Cooperative anti-leukemic effects of vitamin D derivatives and plant polyphenols in AML models: the role of the interplay between NRF2, AP-1, and VDR.....	7
<i>Aitkulov A.M., Abukenova V.S.</i> Soul with beautiful and amazing creatures (to commemorate Nadezhda Petrovna Savchenko's 80th birthday and 50th anniversary of her scientific and educational endeavors).....	19
<i>Asil M.A., Beisov K., Tokbergenova Zh.A., Lesova Zh.T., Iskendiroya R.A., Yrymkhan B., Amirova A.</i> Improvement of the potato seed production system on a virus-free basis in Almaty region	28
<i>Smagulov M.K., Serikbay A.T., Alimzhanova A.Zh., Ageev D.V., Dodonova A.Sh.</i> The influence of humates produced by “Shubarkol Komir” JSC on the germination of seed material of various vegetable crops	36
<i>Mussina R.T., Silantjeva M.M., Ishmuratova M.Yu., Gavrilkova E.A., Tleukenova S.U., Nurkenova A.T.</i> Family Caryophyllaceae in the flora of Central Kazakhstan: species composition, spreading, practical use	41
<i>Tussipkan D., Ramazanova M.B., Manabayeva Sh.A.</i> Soil salinity and salt tolerance of plants	48
<i>Vdovina T.A., Lagus O.A., Danilova A.N., Isakova E.A.</i> Seasonal dynamics of photosynthetic pigments (chlorophylls a, b and carotenoids) in woody plants of the Altai Botanical Garden	58
<i>Ualiyeva R.M.</i> Monitoring of phytophages in spring wheat agrocenoses in view of applying different agrotechnological methods in the conditions of the North-East of Kazakhstan	67

МЕДИЦИНА MEDICINE

<i>Лежнина М.Г., Белоусов М.В., Ханина М.А., Подолина Е.А., Потемкина Н.М., Родин А.П.</i> Закономерности в распределении химических элементов в листьях березы	79
<i>Nedilko O.V., Yanitskaya A.V.</i> Development and validation of method of quantitative determination of flavonoids from the above-ground part of <i>Glycyrrhiza glabra</i> L.....	87
<i>Сливкин А.И., Беленова А.С., Корниенко С.В., Дьякова Н.А., Добрин Ю.В.</i> Новые полимерные комплексы гидразида изоникотиновой кислоты противотуберкулезного и иммуностимулирующего действия	93
<i>Сүлеймен Е.М., Сүлеймен Р.Н., Айкешев Б.М.</i> Сравнительный анализ составов масла <i>Nigella sativa</i> (черный тмин) из Сирии и Пакистана методом хромато-масс-спектрометрии	98

ГЕОГРАФИЯ GEOGRAPHY

<i>Айтжанова М.Р., Жапарова С.Б.</i> Влияние весенних паводков на состояние почв Акмолинской области.....	105
<i>Вантеева Ю.В.</i> Оценка средорегулирующих функций геосистем на локальном уровне	113
<i>Gorbunov A.S., Mikhno V.B., Bykovskaya O.P.</i> Structural and morphological organization of dry valley of the Cretaceous south of the Central Chernozem region	125
<i>Зяблинцева М.В., Черных Д.В., Грибков А.В.</i> Федеральные особо охраняемые природные территории Алтайского края: современное состояние и перспективы развития	139
<i>Kiryarov-Gref F.K., Khoroshev A.V., Anatskaya K.A.</i> Factors of intra-field phytomass variability in steppe agricultural landscapes of Kazakhstan	150

<i>Локтев Р.И., Колесников Р.А., Черных Д.В.</i> Научно-популярный туризм в Ямало-Ненецком автономном округе.....	159
<i>Овсянникова А.Л., Андреева О.С., Егорова Н.Т., Черных Д.В.</i> Периодизация формирования города Новокузнецка на основе ландшафтного подхода	171
<i>Ямских Г.Ю., Жаринова Н.Ю., Макаруч Д.Е., Валенкова А.А.</i> Методы палеоконструкций климатов и растительности голоцена (на примере Красноярской котловины).....	179
<i>Янцер О.В.</i> Весеннее развитие черемухи обыкновенной как индикатор временных состояний ландшафтов (Свердловская область).....	193

R.N. Aitbekov^{1,2*}, A.G. Zhumina^{3*}, M.P. Danilenko⁴

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

² Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan;

³ Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan;

⁴ Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel

*Corresponding authors: ait_ait@mail.ru, asbiol@list.ru

Cooperative anti-leukemic effects of vitamin D derivatives and plant polyphenols in AML models: the role of the interplay between NRF2, AP-1, and VDR

Treatment of acute myeloid leukemia (AML) has not significantly improved in the past 40 years. The active form of vitamin D, 1,25-dihydroxyvitamin D₃ (1,25D₃), has strong in-vitro antileukemic effects at toxic concentrations in vivo. Several low-calcemic vitamin D analogs (VDAs) have been synthesized to reduce 1,25D₃ toxicity. We have previously shown that plant polyphenolic antioxidants (PAOx) synergistically enhance the effects of 1,25D₃ and VDAs at non-toxic doses. These effects were mediated by the nuclear factor (erythroid-derived 2)-like 2 (Nrf2) and activator protein-1 (AP-1) transcription factors. The study aimed to 1) Characterize the combined effects of novel highly potent vascular disrupting agents with peroxisomal N(1)-acetyl-spermine/spermidine oxidase on differentiation and growth of acute myeloid leukemia cells; 2) Elucidate the role of the interplay between nuclear factor erythroid 2, activator protein-1, and vitamin D receptor (VDR) in the combined antileukemic effects of vascular disrupting agents and peroxisomal N(1)-acetyl-spermine/spermidine oxidase. This article presents the treatment of AML with pharmaceutical plants and vitamin D. Such techniques as culture dilution (HL60, U937) and Western Blotting were used. We determined the in-vitro antileukemic effects of novel plant vitamin D₂-based VDAs with removed C-19 (19-nor analogs; PRI-5201 and PRI-5202) or with a side-chain modification at C-24 (24-cis analogs; PRI-1916 and PRI-1917) on HL60, U937, and MOLM-13 human AML cells. The differentiation potency of PRI-5201 and PRI-5202 was 1-2 orders of magnitude higher than that of 1,25D₂ or 1,25D₃, while the 24-cis modification was almost ineffective. The 19-nor VDA/CA combinations are promising for treating AML. In vivo, testing of these combinations is in progress. We suggest that direct or indirect Nrf2-mediated up regulation of AP-1 and VDR by PAOx increases the sensitivity of AML cells to low doses of 1,25D₃ or VDAs.

Keywords: acute myeloid leukemia (AML), nuclear factor (erythroid-derived 2)-like 2 (Nrf2), activator protein-1 (AP1), polyphenolic antioxidants (PAOx), vitamin D analogs (VDAs).

Introduction

Leukemia is represented by a variety of malignant diseases that are characterized by the uncontrolled proliferation of white blood cells (WBC) [1–3]. These actively dividing, immature, functionless cells accumulate in the bone marrow and peripheral blood of a patient with leukemia [4]. The bone marrow can no longer produce enough normal erythrocytes, WBC, and platelets. As a result, leukemia patients suffer from anemia, cytopenia, increased risk of infections, and bleeding. Additionally, malignant hematological cells circulating in the peripheral blood may reach the lymph nodes, liver, spleen, central nervous system, testicles, and other organs [5–6].

There are about 300,000 leukemia new cases over the world each year and 222,000 deaths. The five-year relative survival rate for patients with leukemia has more than tripled in the past 47 years [3]. In 1960–1963, a leukemia patient had a 14 percent chance of living for five years when compared to a person

without leukemia. Gradually, the overall relative survival rate increased to almost 50 percent in 1996–2003. However, the five-year survival improved mainly for patients with acute lymphocytic leukemia (60 percent) and chronic lymphocytic leukemia (70 percent), whereas the same five-year survival rate for patients diagnosed with acute myelogenous leukemia (AML) remained low, at approximately 20 percent [7].

To date the main treatment for acute myeloid leukemia AML, chemotherapy is very ineffective and toxic. Following the treatment 80 percent of AML patient will die of the disease or due to cytotoxic effects [8]. Consequently, new therapies are necessary to improve survival of AML patients. Differentiation therapy is used as an alternative or complement to conventional chemotherapy for the treatment of cancer. Several compounds are known to induce differentiation of neoplastic cells. For example, all-trans retinoic acid (ATRA) has proven extremely valuable in the treatment of acute promyelocytic leukemia (APL), a subtype of AML. The serendipitous introduction of ATRA for the treatment of APL turned out to be the first truly effective targeted therapy for the treatment of APL and has had a profound effect on increasing the cure rate of this disease. Similarly, vitamin D₃ is currently under investigation as a differentiating agent in a variety of tumor types. It is well-known that the therapeutic use of the most biologically active vitamin D metabolite, 1,25D₃, is limited by its hypercalcemic effect. Synergistically acting drugs that can potentiate the differentiating effect of 1,25D₃ at low, non-toxic concentrations may present a solution to this challenge [9-10].

This research is a continuation of our studies demonstrating that the plant-derived polyphenol carnosic acid (CA) enhances myeloid leukemia cell differentiation induced by nearly physiologic concentrations of 1,25D₃ and ATRA (10). The aim of the present study is to investigate the molecular mechanism of potentiation of 1,25D₃-induced myeloid leukemia cell differentiation by CA.

Tasks: 1) To characterize combined effects of novel highly potent vascular disrupting agents with peroxisomal N (1)-acetyl-spermine/spermidine oxidase on differentiation and growth of acute myeloid leukemia cells; 2) To elucidate the role of the interplay between nuclear factor erythroid 2, Activator protein 1 and vitamin D receptor in the combined anti-leukemic effects of vascular disrupting agents and peroxisomal N (1)-acetyl-spermine/spermidine oxidase.

Experimental

Reagents and antibodies. Carnosic acid was purchased from Alexis Biochemicals (Läufelfingen, Switzerland). 1,25D₃ was a gift from Dr. Milan Uskokovic (BioXcell, Inc., Nutley, NJ). 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate (TPA), tert-butylhydroquinone (tBHQ), and DMSO were obtained from Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO). The antibodies against VDR (C-20), Nrf2 (C-20 and H-300), c-Jun (H-79), c-Fos (4-10G), ATF2 (C-19X), and NQO1 (C-19), were purchased from Santa Cruz Biotechnology Inc. (Santa Cruz, CA). Anti-GCS antibody (RB-1697-P) was obtained from NeoMarkers (Fremont, CA). Anti-calreticulin antibody (PA3-900) was obtained from Affinity BioReagents (Golden, CO). Peroxidase-conjugated AffiniPure donkey anti-rabbit and donkey anti-goat IgG were purchased from Jackson ImmunoResearch Laboratories, Inc. (West Grove, PA).

Stock solutions of CA (10 mM), 1,25D₃ (0.25 mM), and tBHQ (30 mM) were prepared in absolute ethanol. TPA (1 mM) and MG132 (25 mM) stock solutions were prepared in DMSO. The precise concentration of 1,25D₃ in stock solutions was verified spectrophotometrically at 264 nm.

Cell Culture and Treatment. HL-60 human myeloblastic leukemia cells and U937 human myelomonocytic leukemia cells were obtained from Dr. R. Levy (Ben-Gurion University). Cells were grown in RPMI 1640 medium containing penicillin (100 U/ml), streptomycin (0.1 mg/ml), and 10% FCS. Cells were plated in 6-well plates (4 × 10⁴ cells/ml) unless stated otherwise and incubated with the indicated concentrations of CA and/or 1,25D₃ for various periods of time. All procedures were done under dim light.

Western Blotting. Cells were washed twice with ice-cold PBS and resuspended in ice-cold lysis buffer containing 50 mM HEPES (pH 7.5), 150 mM NaCl, 10% (v/v) glycerol, 1% (v/v) Triton X-100, 1.5 mM EGTA, 2 mM sodium orthovanadate, 20 mM sodium pyrophosphate, 50 mM NaF, 1 mM DTT and 1:50 Complete TM protease inhibitor cocktail. The lysates were incubated for 10 min on ice, and the cellular debris were cleared by centrifugation (20,000 × g, 10 min, 4°C). The protein content of the samples was determined by the Bradford method using a protein assay kit (Bio-Rad, Richmond, CA). Equal amounts of protein (30 µg) were separated by SDS-PAGE and then transferred to a nitrocellulose membrane (Whatman GmbH, Dassel, Germany). The membrane was blocked with 5% nonfat milk and probed with one of the abovementioned primary antibodies. Protein bands were visualized using the Western Lightning™ Chemiluminescence Reagent Plus (PerkinElmer Life Sciences, Inc., Boston, MA) after exposure of the membrane to a corresponding secondary antibody coupled to horseradish peroxidase (Promega, Madison, WI). Protein abundance

was quantitated by densitometric analysis using an Image Master VDS-CL imaging system (Amersham Pharmacia Biotech).

Statistical Analysis. The significance of the differences between the means of the various subgroups was assessed by the two-tailed Student's t-test. Two compounds (A and B) were considered to show enhancement in the experiment if the effect of their combination (AB) was larger than the sum of their individual effects ($AB > A + B$), the data being compared after subtraction of the respective control values from A, B, and AB. Data are presented as mean \pm SE. P value less than 0.05 was statistically significant. The computations were performed using Microsoft EXCEL and GraphPad Prism software (GraphPad Software, San Diego, CA) programs.

Results

Figure 1 illustrates that, while not affect the differentiation of U937 cells, CA (10 μ M) strongly potentiated the ability of a low concentration of 1,25D₃ (2.5 nM) to induce expression of an early monocytic surface marker, CD14, following treatment for 60 h. Cells were incubated with vehicle (A) or indicated compounds (B, D, E) for 60 h, followed by expression analysis of the surface differentiation markers CD11b and CD14, as described in "Materials and Methods". 1,25D₃ (100 nM) was used as a positive control (F). Panel C summarizes the data of two independent experiments (means \pm the upper and lower limits of experimental values).

The expression of a general myeloid differentiation marker, CD11b, was also enhanced. Importantly, the differentiation effect of combination treatment was like that induced by a high (100 nM) concentration of 1,25D₃ alone.

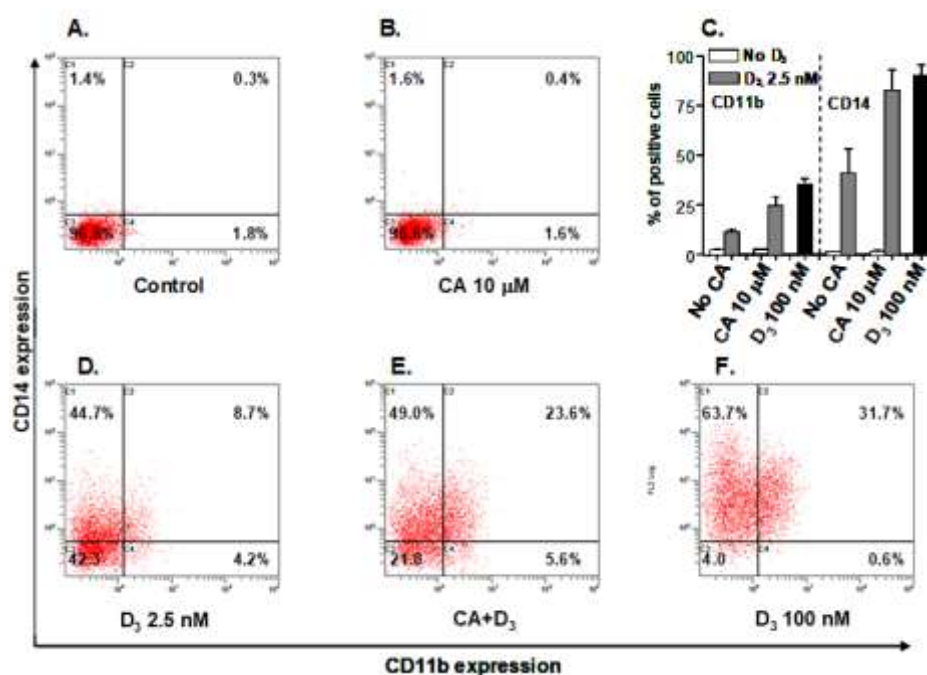


Figure 1. CA potentiate U937cell differentiation induced by 1,25D₃ (D₃)

Since, it was recently demonstrated in our laboratory that CA acts as an antioxidant in HL60G leukemia cells, we first determined whether potentiation of 1,25D₃-induced differentiation by CA is accompanied by the activation of the Nrf2/ARE system. Therefore, we set out to investigate whether CA induces any detectable changes in the mRNA and protein levels of Nrf2, the key transcription factor of the ARE. U937 cells were incubated with 10 μ M CA or 30 μ M tBHQ (the classic Nrf2/ARE inducer) for 1 h, followed by semi-quantitative RT-PCR to measure mRNA levels. As shown in Figure 2 (A, B), these antioxidants did not significantly change Nrf2 expression. However, Nrf2 protein levels were increased in U937 cells treated for 1 to 6 h with CA or tBHQ (Fig. 2C), as compared to control cells. Cells were treated with CA or tBHQ for the indicated times, followed by determination of Nrf2 mRNA and protein levels by semi-quantitative RT-PCR (A) and western blotting (C), respectively. Whole cell lysate of tBHQ-treated T47D breast cancer cells was

used as a positive control (C). 28S (A) and calreticulin (C) were used as loading controls. In A and C, one representative of two similar experiments is shown. In B, the quantification of these experiments is presented. Data shown represent the average of two experiments. Error bars correspond to the variance of the means.

The total protein extracts from tBHQ-treated T47D breast cancer cells were used as a positive control for Nrf2 protein expression.

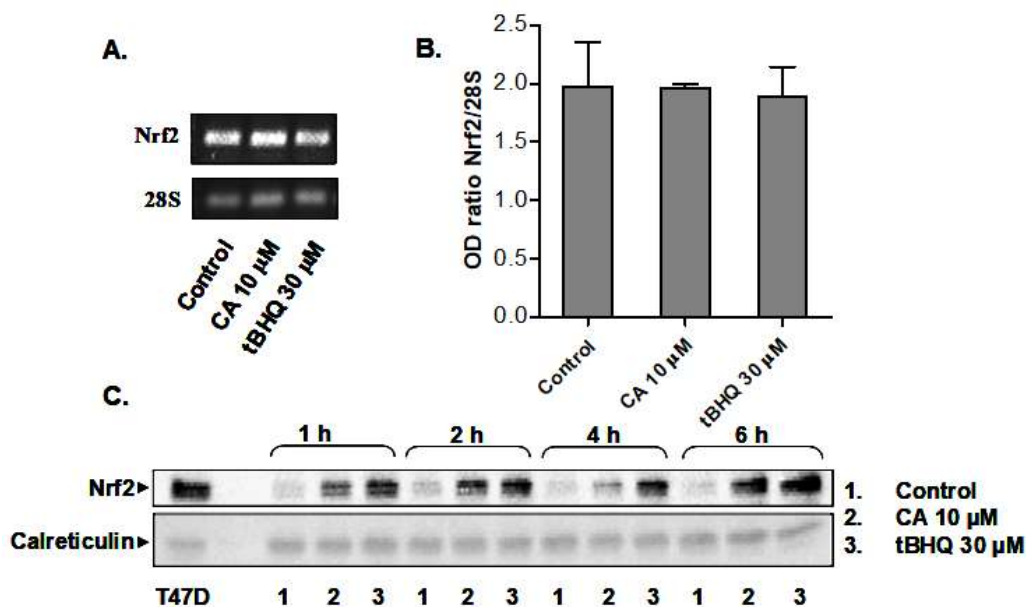


Figure 2. Induction of Nrf2 in U937 cells

In order to evaluate whether CA is able to transactivate the ARE, we measured its effects on the NQO1-ARE4-luc reporter gene system in transiently transfected U937 cells. As shown in Figure 3A, CA induced transactivation of the ARE in a concentration-dependent manner. Concentrations higher than 20 μM were found to be cytotoxic (data not shown). Additionally, other plant-derived polyphenols — curcumin, carnosol, and silibinin — with known antioxidant property were able to reduce the levels of intracellular ROS in the HL60 leukemic cells (Gabi Izumchenko, unpublished data) and were evaluated as possible inducers of the NQO1-ARE4 reporter gene system in leukemic cells. We found that, unlike CA, neither silibinin nor rosmarinic acid transactivated the ARE, but carnosol and curcumin activated the ARE-luc reporter in a concentration-dependent manner, albeit to a lesser extent than CA (Fig. 3A, B). Accordingly, figure 3B demonstrates that CA and curcumin, but not silibinin, transactivated the ARE \times 4-luc reporter gene system, which contains four tandem synthetic ARE repeats.

In order to evaluate whether CA and 1,25D₃ are cooperative in terms of ARE transactivation, we measured the effects of CA, 1,25D₃, and their combination treatment on the NQO1-ARE4-luc (Fig. 4A) and ARE \times 4-luc (Fig. 4B) reporter gene systems in transiently transfected U937 cells. When added alone, 1,25D₃ did not significantly affect the ARE activity but moderately enhanced CA-induced ARE transactivation (Fig. 4A, B) U937 (A, B) and WEHI-3B (C) leukemia cells (2×10^5) were co-transfected with NQO1-ARE4-luc (A) or ARE \times 4-luc reporter (B, C) and Renilla plasmids. Four hours later, cells were treated with CA or 1,25D₃ (D₃) alone and in combination. Luciferase activity was determined after an additional 20 h. tBHQ was used as a positive control. The Firefly luciferase to Renilla luciferase ratios of a preliminary experiment (B) or of 2-4 experiments (A, C) are presented as the means \pm SE of triplicate.* significant enhancement of CA effect by 1,25D₃, as compared to CA alone ($P < 0.05$). To demonstrate that the CA-induced ARE transactivation is not unique to the U937 cell line, we transiently transfected WEHI-3B murine myelomonocytic leukemia cells with the ARE \times 4-luc reporter plasmid and evaluated ARE induction. In results similar to those obtained in U937 cells, CA transactivated the ARE in WEHI cells, and 1,25D₃ increased CA-induced ARE transactivation; 1,25D₃ alone, though, even at 100 nM concentration, did not affect ARE activity (Fig. 4C).

To assure that the results of the reporter gene assays reflect a physiological increase in ARE activity, we determined whether CA and 1,25D₃ treatments induced the expression of the Nrf2/ARE-responsive proteins,

NQO1 and the catalytic subunit of γ -GCS, in untransfected U937 cells. As shown in Figure 5A, NQO1 was substantially induced in cells treated for 20 h with CA (10 μ M).

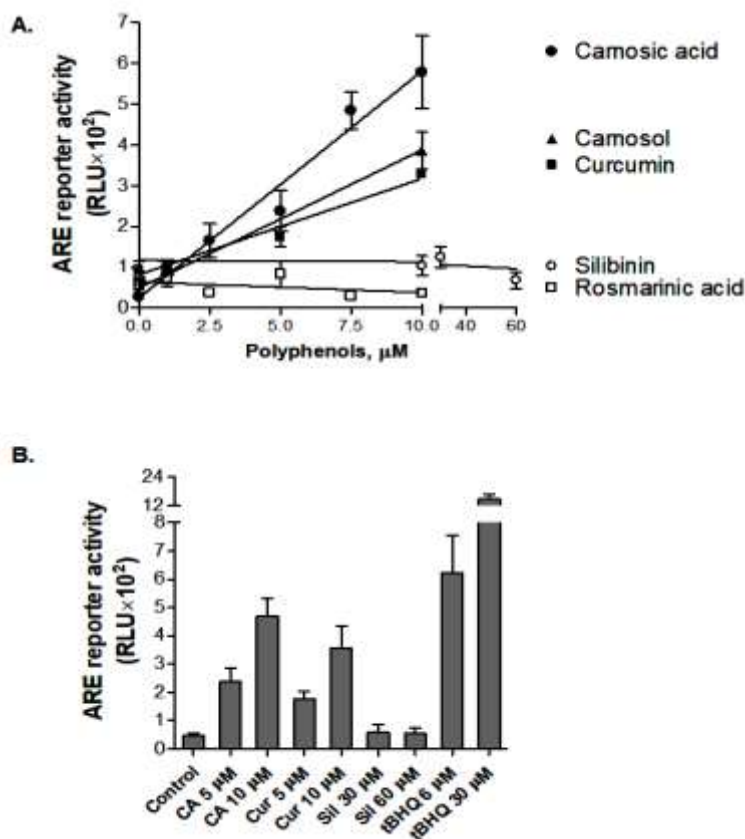


Figure 3. Effects of different polyphenols on the ARE transactivation. U937 cells (2×10^5) were co-transfected with NQO1-ARE4-luc (A) or ARE \times 4-luc (B) reporter and Renilla plasmids

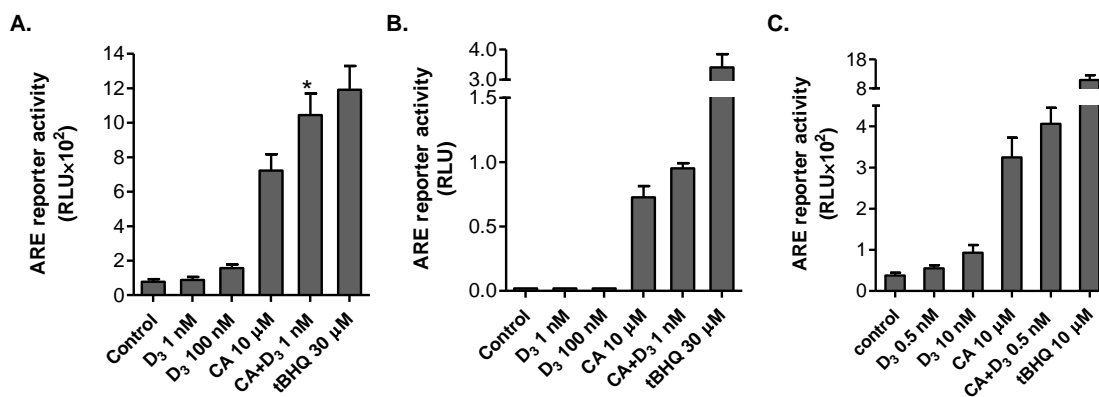


Figure 4. 1,25D₃ moderately increases CA-induced ARE activity

When added alone or in combination with CA, 1,25D₃ did not significantly affect NQO1 expression. γ -GCS was also induced following treatment with CA, and 1,25D₃ slightly enhanced this effect (Fig. 5A, B). tBHQ (30 μ M) induced, as expected, the expression of both Nrf2/ARE-responsive proteins. Cells were treated with the indicated agents for 20 h for western blot analysis of NQO1 and γ -GCS levels (A). tBHQ was used as a positive control. Calreticulin was used as loading control. Representative blots of two similar experiments are shown (A). Densitometric analysis of protein bands presented in panel B (means \pm the upper and lower limits of experimental values, n=2).

γ -GCS is responsible for glutathione synthesis [5-6]. Therefore, we determined whether the cooperation between CA and 1,25D₃ on ARE transactivation and CA-induced elevation of γ -GCS protein level was accompanied by changes in the intracellular glutathione levels in U937 cells. To this end, cells were incubated with CA (10 μ M) 1,25D₃ (1 nM), by themselves and in combination or with tBHQ (30 μ M) for 24 h, followed by measurement of total cellular glutathione. When added alone, CA and 1,25D₃ showed a moderate effect (Fig. 6).

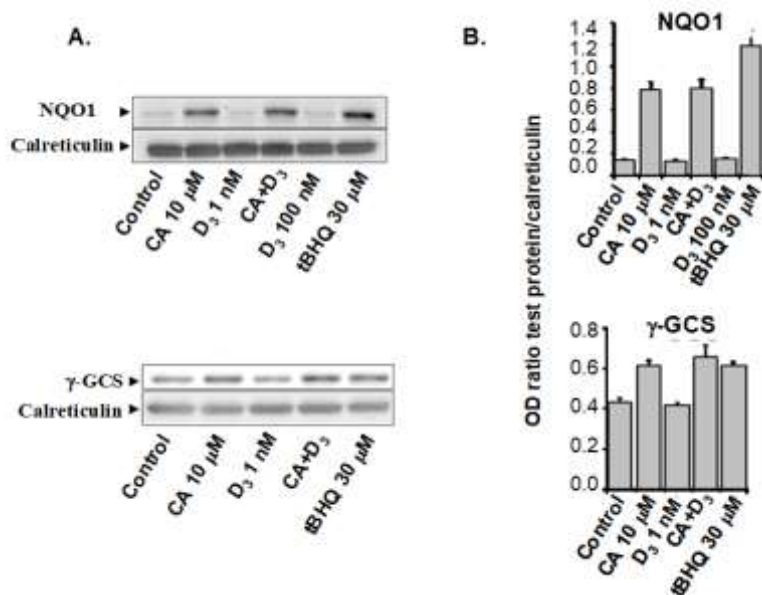


Figure 5. Effects of CA, 1,25D₃ (D₃) and tBHQ on NQO1 and γ -GCS protein expression

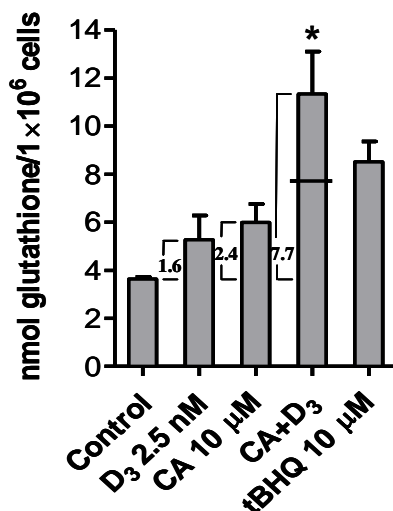


Figure 6. Effects of CA, 1,25D₃ (D₃) and tBHQ on total glutathione levels in U937 cells

Cells were incubated with the indicated compounds for 24 h followed by measurement of total glutathione by the glutathione reductase recycling assay described in “Materials and Methods”. Data are the means \pm SE of two independent experiments performed in triplicate. *CA/1,25D₃ combination-induced effect was significantly stronger than of the sum of each agent alone which is signed by a horizontal line ($P < 0.05$). However, in combination, they produced a substantial synergistic elevation of glutathione levels.

To explore the role of the Nrf2/ARE system in the 1,25D₃/CA-induced differentiation, we employed Nrf2 over expression and down-modulation strategies. To this end, U937 cells were stably transfected with expression vectors for Nrf2, its dominant-negative mutant (dnNrf2), or empty vector (pEF) and were desig-

nated U937-Nrf2, U937-dnNrf2, or U937-pEF cells, respectively. The transfected cells were cloned by limiting dilution. Prior to determine the differentiation induction, the functional consequences of Nrf2 over expression or down-modulation were estimated by determining Nrf2 protein levels (Fig. 7A) and induction of ARE-responsive gene products (Fig. 7B). These assays were performed in two U937-Nrf2 clones (#18 and #20) and two U937-dnNrf2 clones (#13 and #17). Untransfected U937 cells, as well as a mixed U937-pEF clone culture and the isolated clone U937-pEF#3, were used as controls.

As shown in Figure 7A, in the absence of stimulation, untransfected U937 cells, control transfectants, and U937-dnNrf2 clones demonstrated a low expression level of a ~97-kDa Nrf2 polypeptide, whereas U937-Nrf2 clones had relatively higher Nrf2 levels. U937-Nrf2 #18 clone exhibited a slightly higher Nrf2 expression than U937-Nrf2 #20 clone. In both U937-dnNrf2 clones, we observed the appearance of a truncated dnNrf2 form (~22.5 kDa). Upon stimulation with tBHQ, the increase in Nrf2 levels was more pronounced in the Nrf2 transfected cells, U937-Nrf2#18 clone being more responsive than U937-Nrf2#20 clone. Cells were treated with CA or tBHQ for 24 h, followed by determination of protein levels by western blotting. The Nrf2 and dnNrf2 detecting strips were taken from the same blot. The γ -GCS and NQO1 levels were determined in the U937-Nrf2 #18 and U937-dnNrf2 #17 clones. Blots of one experiment are presented. The similar data for the NQO1 levels were obtained in 3 independent experiments performed with mixed (uncloned) dnNrf2 transfectants (data not shown).

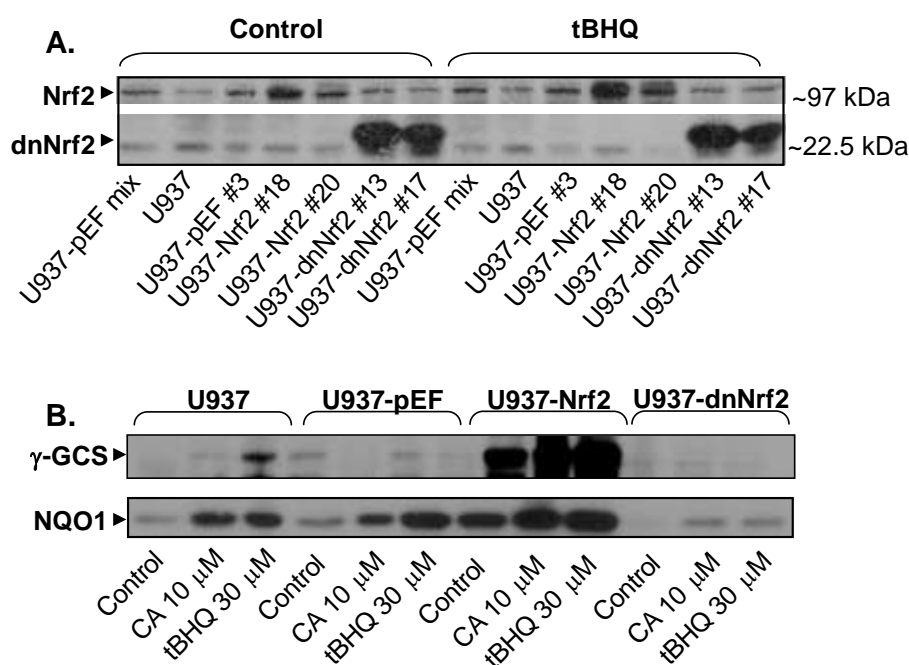


Figure 7. Induction of Nrf2 (A) and ARE-regulated gene products γ -GCS and NQO1 (B) in U937 cells stably transfected with Nrf2, dn-Nrf2, empty vector (pEF), or in untransfected cells (U937)

The enhancement or attenuation of the Nrf2/ARE transcriptional system activity due to Nrf2 modulation was accompanied by respective changes in the expression of the ARE-responsive gene products, NQO1 and γ -GCS. As demonstrated in Figure 7B, Nrf2 over expression resulted in an increase in both the basal and tBHQ-induced NQO1 and γ -GCS expression in the U937-Nrf2 cells, compared to untransfected U937 cells or U937-pEF cells. On the other hand, dnNrf2 expression led to a marked reduction in both the basal and induced NQO1 and γ -GCS levels.

Collectively, these results show that CA activates the Nrf2/ARE system and induces the ARE-regulated proteins, and that transfection of Nrf2 or dnNrf2 can increase or decrease, respectively, the levels and activity of Nrf2 in leukemic cells.

To elucidate the mode of the involvement of the Nrf2/ARE system in the induction of leukemia cell differentiation by 1,25D₃ and CA, we first explored the idea that this system may participate in the regulation of cellular levels of VDR and RXR and, hence, cell sensitivity to 1,25D₃. Furthermore, we addressed the role of

Nrf2/ARE system in the regulation of one of the major transcription factors implicated in the regulation of VDR expression, AP-1, in myeloid leukemia cells.

Vitamin D₃ induces leukemic cell differentiation acting via a nuclear VDR/RXR ligand-activated transcription complex. Previous studies in our laboratory have demonstrated that 1,25D₃ and CA alone upregulates VDR and RXR protein levels in HL60-G cells and greatly synergize in this effect. In order to find whether CA enhances VDR transcriptional activity as well, we measured VDRE activation by a reporter gene assay in transiently transfected U937 cells. As expected, 1,25D₃ induced a dose-dependent VDRE transactivation (Fig. 8A). CA significantly ($p < 0.01$) increased 1,25D₃-induced transactivation of VDRE-luc reporter system (Fig. 8B). U937 cells (2×10^5) were co-transfected with VDRE-luc reporter and Renilla plasmids. Four hours later cells were stimulated with the indicated compounds. Expression of firefly and Renilla luciferases was determined 24 h after the transfection. 1,25D₃ (D₃) at 100 nM was used as the positive control. The Firefly luciferase to Renilla luciferase ratios of 7 (A) and 2 (B) experiments are presented as the means \pm SE of triplicate. * $P < .05$, significant enhancement of 1,25D₃-induced effect by CA, compared with 1,25D₃ alone.

The effect of the CA/1,25D₃ combination treatment was comparable to that of a high concentration of 1,25D₃ (100 nM). Treatment with the polyphenol alone slightly increased VDRE activity probably due to the presence of 1,25D₃ traces in serum.

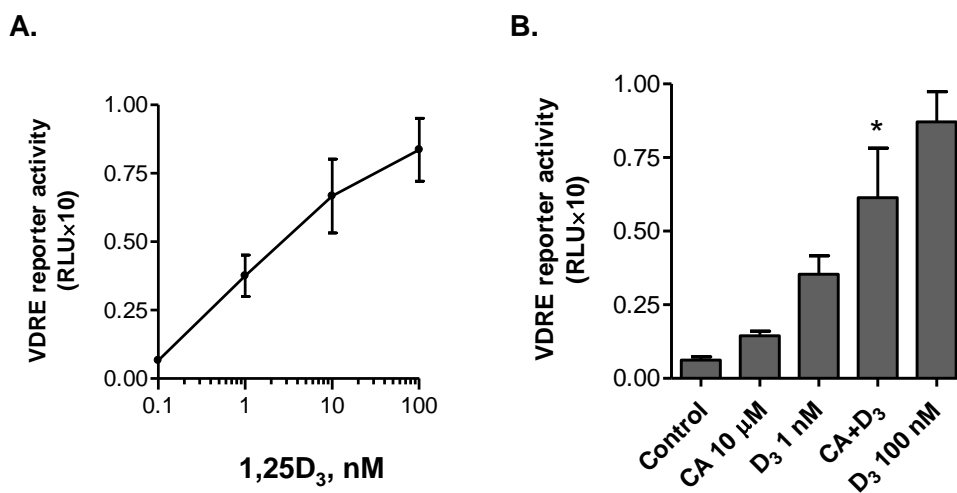


Figure 8. Carnosic acid enhances 1,25D₃-induced VDRE transactivation

To determine whether the Nrf2/ARE system is involved in the regulation of VDR expression and activity we measured the effects of CA, 1,25D₃ and their combination on VDR protein levels and VDRE activation in U937-pEF, U937-Nrf2, and U937-dnNrf2 cells. As shown in Figure 8 (A, B), treatment for 24 h with CA slightly increased the VDR protein levels in U937-pEF cells, and this effect seemed to disappear after 96h. 1,25D₃ (2.5 nM) alone elevated VDR content in U937-pEF cells following incubation for 24 h or 96 h while the addition of CA did not further increase the receptor level. Importantly, Nrf2 over expression resulted in a marked upregulation of treatment induced VDR protein expression. This effect was more pronounced in the U937-Nrf2#18 clone, which had higher Nrf2 levels than the U937-Nrf2#20 clone (Fig. 6). The basal VDR levels also increased in the U937-Nrf2#18 clone (Fig. 8). Transfection with dnNrf2 strongly reduced VDR content in both U937-dnNrf2#13 and U937-dnNrf2#17 clones.

Discussions

Our laboratory focuses on studies of natural food derivatives and their anticancer effects [10]. Recently, we and others have shown that plant-derived polyphenolic antioxidants CA, curcumin, and silibinin markedly potentiate the differentiating action of low, near-physiological concentrations of 1,25D₃ and ATRA in HL60 human leukemia cells. Similarly, we demonstrated that CA or the CA-rich ethanolic extract of rosemary leaves synergistically potentiated differentiation of WEHI-3B D(-)murine myelomonocytic leukemia cells induced by 1 nM 1,25D₃ or its low-calcemic analogs, Ro25-4020 and Ro27-5646. Importantly, this treatment elicited strong cooperative antitumor effect, without inducing hypercalcemia in Balb/c mice bearing WEHI-3B D(-)tumors. In this study, we have investigated the molecular mechanism of synergy between

CA as a representative of ARE-activating plant-derived polyphenols and 1,25D₃ at low doses. In general, antioxidants exert their anticancer therapeutic effects via two major mechanisms: 1) direct scavenging of harmful radicals and 2) induction of various defense systems, which depend on redox-sensitive transcription systems. One such transcription system is the ARE and its major activating transcription factor, Nrf2. The ARE is found in the promoters of detoxifying and redox-regulating enzymes. We hypothesized that polyphenolic antioxidants drive Nrf2/ARE activation, which, in turn, potentiates the vitamin D receptor activity, leading to an enhanced differentiation response in leukemia cells. Our hypothesis was supported by several lines of evidence:

First, we found that the phenolic diterpene CA and, to a lesser extent, some other polyphenols, induced ARE transactivation in leukemic cells. We demonstrated that CA strongly upregulated the Nrf2 protein levels without significant change of its mRNA levels. Since the mechanism of action of CA on Nrf2 expression/translation is not clear yet, we suggest that CA acts similarly to the other Nrf2/ARE inducing agents that increase the half-life of Nrf2 by stabilization of the Nrf2 protein without affecting the steady-state level of mRNA. We found that CA promoted the expression of the Nrf2/ARE-responsive gene products (e.g., NQO1, γ -GCS) and de novo synthesis of glutathione in U937 cells (Fig. 2, 5). In support of our finding, Wei et al. recently reported that CA activated the Keap1/Nrf2 transcriptional pathway in monkey kidney COS7, murine hippocampal HT22, and rat adrenal pheochromocytoma PC12h cell lines by binding to specific Keap1 cysteine residues. Although the Nrf2/ARE system and its regulation by phytochemicals and other compounds have been well characterized in various cell and animal models, this system remains only scarcely investigated in leukemia cells. For example, synthetic triterpenoids, hemin, and the gold(I)-containing compound auranofin have been found to activate the Nrf2/ARE transcription system in U937 cells. Interestingly, in our study CA-induced ARE transactivation and increased total glutathione levels were augmented by 1,25D₃, even though NQO1 and γ -GCS protein levels were not significantly further affected by the differentiation inducer. We suggest that 1,25D₃ may potentiate the effects of CA on ARE activation by modulating Nrf2 function, e.g., via stimulation of signaling kinase pathways. Extracellular signal-regulated kinase (ERK), c-Jun terminal kinase (JNK), phosphoinositide 3-kinase (PI3-K), and protein kinase C (PKC), which are known to be activated by 1,25D₃ in myeloid leukemia cells, may also positively regulate the Nrf2/ARE pathway. We propose two putative pathways mediating the effect of the CA/1,25D₃-combined treatment on the intracellular glutathione levels. We hypothesize that the CA/1,25D₃-induced enhancement of the γ GCS complex enzymatic activity is the result of 1) enhanced expression of ARE-driven γ GCS regulatory subunit, 2) posttranslational modifications of γ GCS protein or the combination of both. This hypothesis requires further investigation and will be the subject of next study.

Second, we demonstrated that CA-triggered Nrf2/ARE activation potentiates 1,25D₃-induced leukemia cell differentiation. We showed previously and in the present study (Fig. 1) that, while having almost no effect on leukemia cell differentiation, CA potentiates the ability of low, near-physiological concentrations of 1,25D₃ and ATRA to induce differentiation of leukemia cells. Strikingly, the CA/1,25D₃-induced effect on leukemia cell differentiation was strongly enhanced by Nrf2 overexpression (Fig 8), but depletion of Nrf2 by siRNA or expression of a dominant-negative Nrf2 completely abolished this effect. This suggests a critical role for Nrf2 in CA-mediated potentiation of 1,25D₃-induced leukemia cell differentiation. Importantly, the differentiation induced by a high concentration (100 nM) of 1,25D₃ in leukemia cells was significantly enhanced by the Nrf2 overexpression and reduced by the expression of dnNrf2. These results imply that the Nrf2/ARE transcription system participates in the basic mechanism of the differentiation induction by vitamin D₃. Our findings demonstrated that the Nrf2/ARE transcription system plays a major role in myeloid leukemia cell differentiation. Furthermore, these findings are supported by recent publications reporting the role of Nrf2 in differentiation of hematopoietic cells. It has been shown that Nrf2 is upregulated during megakaryocytic and erythroid differentiation of human CD34+ cord blood cells induced by thrombopoietin and erythropoietin, respectively. Furthermore, hemin, the inducer of erythroid differentiation, activated ferritin H gene transcription in K562 human erythroleukemic cells through ARE activation. Generally, these findings suggest that the Nrf2/ARE system is essential in the maturation of hematopoietic progenitors and differentiation of leukemia cells.

Third, we demonstrated that the regulatory action of the Nrf2/ARE system in cell differentiation is mediated, at least in part, by the AP-1 and VDR transcriptional systems. We analyzed two potential mechanisms that may mediate the regulatory action of the Nrf2/ARE system during differentiation of myeloid leukemia cells: the activation of VDR/VDRE and AP-1/TRE transcriptional systems. Both systems have been shown to be involved in 1,25D₃-induced differentiation. For example, El-Huneidi et al. found that inhi-

bition of VDR transcriptional activity by a VDR oligodeoxynucleotide (ODN) decoy markedly abrogated 1,25D₃-induced differentiation in HL60 cells. The same group also showed that functional AP-1 is required for 1,25D₃-induced monocytic differentiation. Our experiments clearly indicate that the component expression and activity of both the VDR/VDRE and AP-1/TRE transcriptional systems are enhanced or reduced by Nrf2 overexpression or downmodulation, respectively (Fig. 8). Of equal importance, is our finding that Nrf2 may regulate the basic mechanism of 1,25D₃-induced differentiation, by controlling VDR and RXR α protein levels and VDRE transactivation, as was shown by positive or negative modulation of the Nrf2/ARE transcriptional system respectively. Our results demonstrated that the dnNrf2 expression reduced the basal expression of NQO1 and γ GCS proteins and caused 22–49% reduction in 1,25D₃-induced VDRE transactivation, therefore we suggest that the basal activity of Nrf2 and ARE-driven products is important for the 1,25D₃-induced activation of the VDR/VDRE transcription system. To estimate the precise effect of 1,25D₃ treatment we plan to use stripped serum in our future research.

Using Nrf2 and dnNrf2 stable transfections we showed a positive role of the Nrf2/ARE system in protein expression regulation of several major AP-1 components, such as c-Fos, c-Jun, and ATF2. We observed that regulation of AP-1 protein levels was accompanied by Nrf2/ARE-regulated AP-1 functional activity. These results are supported by recent data that describe a decrease in c-Fos and c-Jun mRNA levels and AP-1 activity in Nrf2 knockout mice. Using AP-1 decoy ODN we proved that the Nrf2/ARE system facilitates leukemia cell differentiation through the activation of the AP-1 transcriptional complex. In support of this finding, Trachtenberg et al. also found that AP-1 decoy ODN decreased 1,25D₃-induced HL60 leukemia cell differentiation, which was associated with reduced VDR protein levels. The VDR promoter contains two AP-1 response elements, and the data from our laboratory demonstrated that polyphenols potentiated 1,25D₃-induced AP-1 binding to them. In addition, AP1-mediated regulation of the VDR expression was demonstrated by application of truncated c-jun, and site-directed mutagenesis of the TRE in the VDR promoter. Therefore, it is likely that Nrf2 acting via AP-1 regulates the expression of the VDR in myeloid leukemia cells, thereby increasing their responsiveness to 1,25D₃.

The possibility of direct interaction between Nrf2 and VDR is supported by recent findings in our laboratory demonstrating co-recruitment of Nrf2 and estrogen receptor (ER) to the estrogen response element (ERE), using chromatin immunoprecipitation (ChIP) assays (Andrea Atzmon and Keren Hirsch, unpublished data). Furthermore, inhibitory function of Nrf2 on ER/ERE transcriptional activity in breast cancer cells was also demonstrated by stable expression of Nrf2, dnNrf2 or Nrf2 silencing. In contrast to the negative role of Nrf2 in the ER/ERE system, a possible physical and functional interaction between Nrf2 and VDR/RXR/VDRE is likely activating, as supported by our VDRE activation data.

Motif scanning results of the RXR α promoter suggest an additional level of the regulation vitamin D₃-induced cell differentiation by Nrf2. We found two Nrf2 binding sites in the RXR α promoter and showed that Nrf2 overexpression led to a marked upregulation in RXR α protein expression, while transfection with dnNrf2 decreased RXR α content. These results imply that CA may also potentiate 1,25D₃-induced differentiation by upregulation of RXR α through activation of the Nrf2/ARE transcriptional system, but further studies are required to elucidate the possible direct induction of nuclear receptors by Nrf2/ARE.

Conclusions

In this study we have investigated the mechanism for enhancement of 1,25D₃-induced differentiation of myeloid leukemia cell lines by antioxidant polyphenols, utilizing CA as the strong ARE activating phenolic compound. Our results suggest the following model of the functional role for the Nrf2/ARE system in differentiation enhancement (Fig. 1):

1. CA transactivates the Nrf2/ARE transcriptional system and induces the ARE-regulated genes, thereby encoding antioxidant and phase II detoxifying enzymes, such as, NQO1, and γ -GCS. γ -GCS is particularly interesting as it is a rate-limiting enzyme in the glutathione (GSH) synthesis.
2. Elevation of GSH content can facilitate the activation of the redox-sensitive transcription factor AP-1.
3. The activated AP-1 binds to two AP-1 response elements (TRE) located in the VDR promoter thus increasing the VDR expression. The VDR transcriptional system might also be activated directly via physical interaction with Nrf2.
4. The classical VDR/VDRE pathway activated by 1,25D₃, leads to the expression of differentiation-related genes. We suggest that at least some polyphenols may enhance 1,25D₃-induced leukemia cell differentia-

tion by activating Nrf2/ARE and AP-1/TRE, leading to the upregulation of the VDR/VDRE transcriptional system and thus to the sensitization of the leukemia cells to the low non-toxic concentrations of 1,25D₃.

In conclusion, our findings demonstrate for the first time that the Nrf2/ARE transcriptional system plays a major role in myeloid leukemia cell differentiation and thus may represent a target for mechanism-based therapy of AML.

References

- 1 Shang, M. & Sun, J. (2017). Vitamin D/VDR, Probiotics, and Gastrointestinal Diseases. *Curr Med Chem.*, 24(9); 876–887. <https://doi.org/10.2174/0929867323666161202150008>
- 2 Danilenko, M., Clifford, S.C., & Schwalbe, E.C. (2021). Inter and intra-tumoral heterogeneity as a platform for personalized therapies in medulloblastoma. *Pharmacol Ther.*, 228; 107828. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2021.107828>
- 3 Ben-Zichri, S., Kolusheva, S., Danilenko, M., Ossikbayeva, S., Stabbert, W.J., Poggio, J.L., Stein, D.E., Orynbayeva, Z., & Jelinek, R. (2019). Cardioprotective curcumin interactions with mitochondrial membranes. *Biochim Biophys Acta Biomembr.*, 1861(1); 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.bbame.2018.10.016>
- 4 Wang, X., Beute, W.K., Harrison, J.S., & Studzinski, G.P. (2018). JNK1 as a signaling node in VDR-BRAF induction of cell death in AML. *J Steroid Biochem Mol Biol.*, 177; 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2017.07.005>
- 5 Nachliely, M., Trachtenberg, A., Khalifin, B., Nalbandyan, K., Cohen-Lahav, M., Yasuda, K., Sakaki, T., Kutner, A., & Danilenko, M. (2019). Dimethyl fumarate and vitamin D derivatives cooperatively enhance VDR and Nrf2 signaling in differentiating AML cells in vitro and inhibit leukemia progression in a xenograft mouse model. *J Steroid Biochem Mol Biol.*, 188; 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2018.11.017>
- 6 Nowak, U., Janik, S., Marchwicka, A., Łaszkiwicz, A., Jakuszek, A., Cebrat, M., & Marcinkowska, E. (2020). Investigating the Role of Methylation in Silencing of VDR Gene Expression in Normal Cells during Hematopoiesis and in Their Leukemic Counterparts. *Cells*, 9(9); 1991. <https://doi.org/10.3390/cells9091991>
- 7 Hallak, M., Danilenko, M., With Bittner, S., Granot, Y., Shpilberg, O., Levi, I., & Nathan, I. (2023). Novel pyrrolidine-aminophenyl-1,4-naphthoquinones: structure-related mechanisms of leukemia cell death. *Mol Cell Biochem.*, 478(2); 393–406. <https://doi.org/10.1007/s11010-022-04514-0>
- 8 Bornshten, R., Danilenko, M., & Rubin, E. (2022). Projection of Expression Profiles to Transcription Factor Activity Space Provides Added Information. *Genes (Basel)*, 13(10); 1819. <https://doi.org/10.3390/genes13101819>
- 9 Linnewiel-Harmonic, K., Khanin, M., Danilenko, M., Zhang, G., Amos, Y., Levy, J., & Sharoni, Y. (2015). The anticancer effects of carotenoids and other phytonutrients resides in their combined activity. *Arch Biochem Biophys.*, 572; 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.02.018>
- 10 Muduli, S., Golan-Goldhirsh, A., Gopas, J., & Danilenko, M. (2022). Cytotoxicity of Thioalkaloid-Enriched Nuphar lutea Extract and Purified 6,6'-Dihydroxythiobinupharidine in Acute Myeloid Leukemia Cells: The Role of Oxidative Stress and Intracellular Calcium. *Pharmaceuticals (Basel)*, 15(4); 410. <https://doi.org/10.3390/ph15040410>

Р.Н. Айтбеков, А.Г. Жумина, М.П. Даниленко

ЖМЛ модельдеріндегі D дәрумені мен өсімдік полифенол туындыларының лейкозға қарсы бірлескен әсері: NRF2, AP-1 және VDR арасындағы өзара әрекеттесудің рөлі

Жедел миелоидты лейкозды (ЖМЛ) емдеу соңғы 40 жылда айтарлықтай жақсарған жоқ. D витаминінің 1,25-дигидроксивитамин D₃ (1,25D₃) белсенді түрі *in vivo* уытты концентрациясында *in vitro* күшті лейкозға қарсы әсерге ие. 1,25D₃ уыттылығын төмендету үшін құрамында кальцийі төмен D дәруменінің (VDA) бірнеше аналогтары синтезделді. Бұрын біз өсімдік полифенолды антиоксиданттардың (РАОх) улы емес дозаларда 1,25D₃ және VDA әсерін синергетикалық түрде күшейтетінін көрсеткен болатынбыз. Бұл әсерлер ядролық фактор (эритроид 2 туындысы)-2 (Nrf2) және активатор ақуызы-1 (AP-1) транскрипция факторлары арқылы жүзеге асырылды. Зерттеудің мақсаты: 1) пероксисомалық N (1) – ацетилспермин/спермидиноксидазасы бар жаңа күшті әсер ететін тамырды кеңейтетін агенттердің жедел миелоидты лейкоз жасушаларының дифференциациясы мен өсуіне біріктірілген әсерін сипаттау; 2) тамырды кеңейтуші агенттердің лейкозға қарсы және пероксисомалық N (1)-ацетилспермин/спермидиноксидазаның біріктірілген әсеріндегі эритроид 2 ядролық факторын, активатор ақуызы-1 және D дәрумені рецепторы (VDR) арасындағы өзара әрекеттесудің рөлін анықтау. Мақалада ЖМЛ-ны фармацевтикалық өсімдіктермен және D дәруменімен емдеу ұсынылған. Өсіндіні өсіру (HL60, U937) және вестерн-блоттинг сияқты әдістер қолданылған. Жойылған C-19 (19-ног аналогтары; PRE-5201 және pri-5202 аналогтары) өсімдік негізіндегі B2 дәрумені немесе HL 60, U937 және MOLM-13 адам жасушаларында C-24 (24-цис аналогтары; pri-1916 және PRI-1917) бүйірлік тізбекті модификациялануы жаңа VDA-да лейкозға қарсы әсері *in vitro* анықталды. PRI-5201 және PRI-5202 дифференциациясының тиімділігі 1, 25D₂ немесе 1,25d₃-тен 1-2 реттік жоғары болған, ал сол уақытта 24-цис модификациясы іс жүзінде тиімсіз болды. 19-ног VDA/CA комбинациялары ЖМЛ емдеу

үшін тиімді. Қазіргі уақытта бұл комбинацияларды *in vivo* тестілеу жүргізілуде. PAOx көмегімен AP-1 және VDR тікелей немесе жанама Nrf2 арқылы белсендірілуі ЖМЛ жасушаларының 1,25D3 немесе VDAs төмен дозаларына сезімталдығын арттырады деп болжаймыз.

Кілт сөздер: жедел миелоидты лейкемия (ЖМЛ), ядролық фактор (эритроид туындысы 2)-акуызды белсендіретін 2 (Nrf2)-1 (AP1), полифенол антиоксиданттары (PAOx), D дәрумені аналогтары (VDAs).

Р.Н. Айтбеков, А.Г. Жумина, М.П. Даниленко

Совместные противолейкозные эффекты производных витамина D и растительных полифенолов в моделях острого миелоидного лейкоза: роль взаимодействия между NRF2, AP-1 и VDR

Лечение острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) за последние 40 лет существенно не улучшилось. Активная форма витамина D, 1,25-дигидроксивитамин D3 (1,25D3), обладает сильным противолейкозным действием *in vitro* при токсичных концентрациях *in vivo*. Для снижения токсичности 1,25D3 было синтезировано несколько аналогов витамина D с низким содержанием кальция (VDA). Ранее мы показали, что растительные полифенольные антиоксиданты (PAOx) синергически усиливают действие 1,25D3 и VDA в нетоксичных дозах. Эти эффекты были опосредованы ядерным фактором (производным эритроида 2)-подобным 2 (Nrf2) и активаторным белком-1 (AP-1) факторами транскрипции. Целью исследования было: 1) охарактеризовать комбинированное воздействие новых сильнодействующих сосудорасширяющих агентов с пероксисомальной N (1)-ацетилспермин/спермидиноксидазой на дифференцировку и рост клеток острого миелоидного лейкоза; 2) выяснить роль взаимодействия между ядерным фактором эритроид 2, активаторным белком-1, и рецептор витамина D (VDR) при комбинированном антилейкозном воздействии сосудорасширяющих агентов и пероксисомальной N (1)-ацетилспермин/спермидиноксидазы. В настоящей статье представлено лечение ОМЛ фармацевтическими растениями и витамином D. Использовались такие методы, как разведение культуры (HL60, U937) и вестерн-блоттинг. Мы определили противолейкозные эффекты *in vitro* новых VDA на основе растительного витамина D2 с удалением C-19 (аналоги 19-nor; PRI-5201 и PRI-5202) или с модификацией боковой цепи на C-24 (24-цис-аналоги; PRI-1916 и PRI-1917) на человеческих клетках AML HL60, U937 и MOLM-13. Эффективность дифференцирования PRI-5201 и PRI-5202 была на 1–2 порядка выше, чем у 1,25D2 или 1,25D3, в то время как 24-цис-модификация была практически неэффективной. Комбинации 19-nor VDA/CA являются многообещающими для лечения ОМЛ. В настоящее время проводится тестирование этих комбинаций *in vivo*. Мы предполагаем, что прямая или непрямая Nrf2-опосредованная активация AP-1 и VDR с помощью PAOx повышает чувствительность клеток ОМЛ к низким дозам 1,25D3 или VDAs.

Ключевые слова: острый миелоидный лейкоз, ядерный фактор (производный эритроида 2)-подобный 2, активирующий белок-1, полифенольные антиоксиданты (PAOx), аналоги витамина D (VDAs).

Information about authors

Aitbekov, Rinat Nurmollaevich — PhD-student, Research Assistant, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; rinat_ait@mail.ru;

Zhumina, Assel Galimovna — PhD, Associate Professor of Botany Department of Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; asbiol@list.ru;

Danilenko, Michael Petrovich — PhD, Associate Professor, Department of Clinical Biochemistry and Pharmacology, Faculty of Health Sciences, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel; misha@bgu.ac.il.

A.M. Aitkulov, V.S. Abukenova*

Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

*Corresponding author: abu-veronika@yandex.ru

**Soul with beautiful and amazing creatures
(to commemorate Nadezhda Petrovna Slavchenko's 80th birthday and 50th
anniversary of her scientific and educational endeavors)**

Nadezhda Petrovna Slavchenko, a soil zoologist, spent forty years of her life and career as a teacher and scientist at the Karaganda Pedagogical Institute, Karaganda University, and the Department of Zoology. The process of educating scientific and pedagogical staff of the greatest educational institution in Central Kazakhstan is depicted retrospectively on the example of the creative fate of a professional biologist. It was difficult to go from being an assistant to the department chair and a prominent associate professor, but it was made possible by senior colleagues' encouragement and the direction of the newly established University of Karaganda. Soil zoology specialization led to contacts with renowned scientists and great individuals, as well as a fantastic unexplored world. The sole stationary soil-zoological research of invertebrate creatures conducted in Central Kazakhstan by N.P. Slavchenko soil organisms contributed to a better understanding of the relict nature of the Pleistocene island forests' faunistic complex inside the folded nation of Kazakhstan. Invertebrate representatives from over 200 species and 57 families were described; some were reported for the first time for the Sary-Arka or Kazakhstan region. The post-glacial fauna's migration paths were taken into consideration. N.P. Slavchenko's students went on to become naturalists and professors, defended scientific theses, and maintained a passion for zoological study.

Keywords: Central Kazakhstan, Faculty of Natural History of Karaganda Pedagogical Institute, Faculty of Biology of Karaganda State University, Department of Zoology, invertebrate animals, soil zoology, entomology.

Review about life pass

Following her graduation in 1967 from the Karaganda Pedagogical Institute's Faculty of Natural Science, N.P. Slavchenko (Fig. 1) was assigned to the Department of Zoology, where she became a member of the team of working scientists who first exposed her to science. A.N. Mukhachev, a specialist in plant protection, agrochemistry, and entomology; N.B. Shlykov, an entomologist and arachnologist; and N.G. Skopin, an expert on darkling beetles, were among her colleagues and mentors [1]. Every one of them imparted a bit of experience and left a mark on her spirit. As a result, it is reasonable to assume that N.P. had a natural interest in studying invertebrates, the most intricate and diverse group of animals. According to Nadezhda Petrovna's recollections, she first learnt about the existence of soil zoology from Professor N.G. Skopin, who was well familiar with the works of systematists of the scientific school of soil zoologists M.S. Gilyarov.



Figure 1. N.P. Slavchenko

In Kazakhstan, soil zoology — a relatively young field of study that combines soil science with zoology had not gained any traction yet. The majority of the pertinent publications and methods were housed in Moscow leading scientific libraries and were invaluable. N.P. Slavchenko was fortunate to participate in a four-month advanced training program with a focus on “Zoology of vertebrates and invertebrates” at Lomonosov Moscow State University (1971). It brought together 500 teachers from USSR states. Apart from the standard curriculum, every pupil pursued a personalized scientific regimen. N.P. Slavchenko was assigned to the Laboratory of Soil Zoology of the A.N. Severtsov Institute of Evolutionary Morphology and Ecology of Animals (IEMEA) of the USSR Academy of Sciences after deciding to specialize in soil zoology. The laboratory was led by Mercury Sergeevich Gilyarov, who is known as the “father of Soviet soil zoology”. Yulia Borisovna Byzova, his first pupil and assistant, gave her a warm welcome in the lab and played a pivotal role in the future of the burgeoning soil animal population researchers. The first exposure to pertinent methods and works of M.S. Gilyarov; materials of All-Union Meetings on soil zoology; works of the laboratory staff, particularly with the first edition of the “Identifier of invertebrate larvae living in the soil” (1964) and articles by foreign scientists were all made possible under the excellent guidance of Julia Borisovna, a physiologist and zoologist.

In order to perform a thorough inventory of the fauna of soil-dwelling invertebrates and evaluate their significance in soil formation and ecosystem functioning, it was necessary to enlist the services of young specialists who could conduct research in various places. The Mercury Sergeevich laboratory team was involved in a nationwide cycle of training and support for colleagues from other regions. The study of soil fauna greatly benefited by the purposefulness, scientific literacy, stringent consistency, and conscientiousness generated by the degree of knowledge and comprehension of the target of inquiry. These characteristics set Mercury Sergeevich and his students apart, along with their high level of intelligence. The laboratory created an extremely conducive environment for scientific inquiry, which stimulated everyone's creativity. With the backing of seasoned zoologists, N.P. Slavchenko began fieldwork in the distinctive pine woods of the Karkarala mountain range.

Extensive soil excavations turned into an important test for N.P. Slavchenko for this reason, young enthusiasts heading to soil-zoological works were posed a pointed question by renowned zoologist and biogeographer D.A. Krivolutsky: “Are you ready to devote all your time, and maybe your whole life to such activities?” As a passionate field worker who had taken part in several international and all-union trips, he was well-versed in the nuances and difficulty of gathering and preparing soil invertebrates from different taxonomic groupings. Every month for a number of years, N.P. Slavchenko excavated and painstakingly examined dirt monoliths in search of their elusive occupants, frequently by himself in the dense forest. It was essential to go through the multi-pass problem of identifying groupings and species for weeks in the laboratory. N.P. Slavchenko uses humor to describe the details of his field job in the Karkarala woods, recalling amusing situations and unplanned meets. The Karkaralinsk zoology and botany training camp was only starting to take shape in the 1970s of the 20th century. In order to plan their living and working arrangements, explorers frequently traveled alone and had to rely on their creativity. They slept in the forest, traveled, and had to find food someplace. They also drank water from a creek and frequently got cold and wet. The rector of the Pedagogical Institute, S.B. Baimurzin, met in Karkaralinsk with second graduate students and applicants. He was always interested in the progress of scientific activity and helped to resolve problems related to housing, transportation, and other matters during the difficult times of complete shortage.

In 1974-1975 N.P. Slavchenko published her first printed papers on soil entomofauna [2, 3]. Natural scientists might publish in the collection of scientific articles “Experimental studies in chemistry and biology” produced by Karaganda State University. Later on, publications titled “Issues of ecology of flora and fauna of Central Kazakhstan” started to appear. Despite their provincial focus, both journals helped the institution to establish its scientific goals and were important enough to the USSR Higher Attestation Commission to consider when defending dissertations. N.P. Slavchenko continued to be a regular instructor at this time, giving lectures, conducting practical classes, and making time to go through a large number of soil sample contents. She spent a year studying a postgraduate course that helped her to analyze the results of field collection. Her identification of the creatures in the soil also required the help of other specialists. At the Kazakh SSR Academy of Sciences Institute of Zoology in Alma-Ata, the entomological samples from Sary-Arka were often given careful consideration. Hemipteran expert R.B. Asanova and entomologist I.D. Mityaev provided a wealth of insightful guidance and recommendations that aided in the identification of various species. N.P. Slavchenko met several distinguished systematists from the Gilyarov scientific

school in Moscow, including I.H. Sharova (carabidologist and entomologist), N.T. Zaleskaya (centipede expert), and A.L. Tikhomirova (coleopterologist and rove beetle specialist).

When Karaganda State University was first established in 1980, N.P. Slavchenko, as a teacher there, attended in Zoology of Invertebrates courses at Moscow State University's Faculty of Professional Development. All of the lectures were given by renowned zoologists. Lectures on “Zoogeography of the Seas” were given by Prof. V.A. Sveshnikov, the head of the Laboratory of Ecology and Morphology of Aquatic Invertebrates (IEMEA). K.V. Beklemishev was the instructor for “Comparative anatomy and embryology of invertebrates” at Moscow State University. The subject of academician M.S. Gilyarov's lectures was “Zoology of Invertebrates”. N.P. Slavchenko was accredited by the Moscow State University Department of Zoology of Invertebrates after completing a report titled “Soil mesofauna of different forest types of Karkarala forestry” using the materials from her dissertation.

K.S. Baishev, the vice-rector of Karaganda University and a biologist and ecologist, was well aware of the difficulties and scientific importance of handling entomological materials. When crucial consultation travels to Moscow and Leningrad were required, he assisted the dissertant. N.P. turned to scientists at the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences in Leningrad to define complex groups: M.E. Ter-Minasyan, a coleopterologist with expertise in seed beetles, Attelabidae, and Curculionidae; I.M. Kerzhner, a specialist in Hemiptera; and O.L. Kryzhanovsky, an entomologist with expertise in ground beetles and chister beetles.

The deans of the Faculty of Biology, I.M. Anapiev and O.A. Abdrakhmanov, greatly aided in the important research that was done on the fauna of soil invertebrates in the Karaganda region, insect systematics and biodiversity, and pest protection of agricultural plants. Significant assistance was also provided by academician E.A. Buketov, the first rector of Karaganda University, who regarded educating his own trained professionals and developing the most recent scientific directions as top priorities.

The appointment of a scientific supervisor for N.P. Slavchenko's thesis was required to finish the scientific study on soil zoology she had begun in Central Kazakhstan (Fig. 2). Since there were no experts in this sector in Kazakhstan, E.A. Buketov wrote an official letter to the Directorate of IEMEA. Aware of his impending retirement, Evnei Arstanovich made every effort to expedite the commencement of all scientific endeavors at the university. In the final days of his tenure as a rector, he assisted N.P. Slavchenko with an impromptu journey to Moscow to obtain clearance for the head of her thesis from academician M.S. Gilyarov.



Figure 2. N.P. Slavchenko determines entomological collections at KarSU laboratory (70–80s)

Future scientific endeavors were encouraged by the rector of KarSU, Zeinollah Muldakhmetovich Muldakhmetov, taking careful and considerate care to develop his human resource capacity.

N.P. Slavchenko gave a report on the subject of her dissertation study at the VII All-Union meeting on the challenges of soil zoology in Kiev (1981), which served as approbation to her dissertation defense [4].

Subsequently, N.P. Slavchenko took part in several soil zoologist symposia in Ashgabat, Novosibirsk, Tyumen, Leningrad, Vilnius, Moscow, Tbilisi, Kiev [5–8]. For those who were drawn together by the scientific concerns, these were remarkably productive gatherings.

Every trip became a discovery, according to N.P. Slavchenko. The biggest and most memorable ones were the XII International Symposium on Entomofauna of Central Europe (Kiev, 1988) and the IX International Colloquium on Soil Zoology (Moscow, 1985), where she had the chance to report on the soil entomofauna of the Karkarala mountain oasis [9, 10].

Zoologists have always had a fascination in Central Kazakhstan. Most of the invertebrate species found in Sary-Arka were frequently absent in faunistic reviews. The knowledge of the relict nature of the faunistic complex of Pleistocene island forests on the area of the Kazakh Upland has been deepened by N.P. Slavchenko's first and, to date, only soil-zoological research for Central Kazakhstan (Fig. 3).

More than 200 species and 57 groups of invertebrates were described in the works of N.P. Slavchenko; some of these were first identified for the region of Kazakhstan or Central Kazakhstan [11, 12]. Data on individual species and large taxa of soil inhabitants, patterns of biotopic and vertical distribution, and the composition and structure of the complex of soil invertebrates were all collected for the first time, and these details helped to clarify some aspects of the region's general history of the formation of its flora and fauna as well as its historical relationships with the northern forest types.

Species of the Elateridae family provided an excellent illustration of how soil inhabitants may preserve their primary habitats. As a result, the postglacial relict species *Dalopius radiculosus* Gurjeva, 1964, dominated the wet pine forests and small-leaved forests of Karkaralinsk. In the soils of mountain birch forests, the boreal species *Selatosomus melancholicus* (Fabricius, 1798) predominated [13].

According to N.P. Slavchenko's works, relict species of true bugs that are typical of northern pine forests have been preserved in the forests of Karkaralinsk. These species include *Drymus brunneus* (R.F. Sahlberg, 1848), *Drymus sylvaticus* (Fabricius, 1775), *Eremocoris abietis* (Fallén, 1807) *Eremocoris plebejus plebejus* (Fallén, 1807), *Ligyrocoris sylvestris* (Linnaeus, 1758), *Philomyrmex insignis* R.F. Sahlberg, 1848 [14].

Materials on the origins of the soil faunistic complex of the island highland forests of the Kazakh Upland were presented by N.P. Slavchenko at the All-Union Zoogeographical Conference in Leningrad (1985). She arrived at a conclusion in her investigation regarding the postglacial western nature of fauna migratory pathways [15, 16]. It was able to conclude, based on historical geobotany, that human impact led to the isolation of these island woods in the past centuries.



Figure 3. The employees of Karaganda State University's Department of Zoology (70s). Senior lecturer N.P. Slavchenko, associate professor A.B. Fathulova, head of department T.I. Aubakirov, associate professor M.K. Utebaeva, and senior lecturer L.N. Prus are seated on the first row, left to right. Associate professor K.B. Bekishev is on the right, associate professor T.B. Balmagambetov is on the left in the second row

At the university, there were always chances to transmit scientific experience. Students' fieldwork in the Karkaraly mountains was a significant practical phase. It was there that N.P. Slavchenko displayed his extraordinary dedication to his favorite endeavor — the study of invertebrates. Those who attended Karaganda State University in the 1970s through 1990s likely recall the zoology students' summer excursions, when they would arrive carrying field tablets loaded with test tubes, insect bottles, notebooks, pencils, tweezers, and nets. The most odd constructed containers, traps, and butterfly wingspreaders were perched on the window sills of the hostel for students.

Within the students' rooms, entomological artifacts flew, crawled, and buzzed after escaping the crates. Study room displays of binocular microscopes and atlases for identifying insects encouraged the pupils' interest for research. In the same hall, an insect eclector blazed brightly all night. Any practical job, such as creating entomological mattresses and envelopes, keeping track of nocturnal butterflies, identifying, naming of biocenotic collections became the most fascinating thing for everyone while N.P. Slavchenko was around. Research captivated even the pupils who felt uncomfortable handling insects and preferred to work with gloves.

Naturally, students writing theses on the invertebrates of the Karaganda Oblast and other parts of the country received more attention from N.P. Slavchenko at competitions for young researchers, student scientific works under the supervision of N.P. Slavchenko were given certificates and diplomas. While some of N.P. Slavchenko's pupils went on to become instructors and defend their scientific theses on different topics, all of them have strong memories of their time spent conducting entomological research as students.

N.P. Slavchenko led the Department of Zoology from 1988 until 1992. Along with associates M.K. Utebaeva, V.I. Kapitonov, and T.B. Balmagambetov N.P. Slavchenko advocated for the priority study of the Kazakh Upland's animal biodiversity (Fig. 2). Staff members of the Department of Zoology summarized data on the relationship between environmental variables and the distribution of organisms in the main ecosystems for the scientific work “Biological assessment of natural populations of flora and fauna of Karkarala Nature Park”, which was published in 1991 [17].

The USSR State Committee for National Education named N.P. Slavchenko as an Associate Professor in the Department of Zoology in 1990. She served as the University's Deputy Dean of the Faculty of Biology and Geography for scientific work and as a member of the Scientific and Technical Council for a long time. N.P. Slavchenko served as the journal's responsible secretary for a while (Vestnik KarSU, Series “Biology, Medicine, Geography” and was a member of the dissertation council for the specialties of “03.00.08 – Zoology” and “03.00.13 – Physiology”.

“Invertebrate Zoology”, “Practical Invertebrate Zoology”, “Biomethods of Control of Populations of Harmful Species”, “Comparative Embryology of Invertebrates”, and “Theory of Zoological Systematics” are the five main courses that N.P. Slavchenko developed and are still relevant for KarU as a classical university today. She released a number of methodological guidelines for independent work on field practice of invertebrate zoology and individual, control, credit assignments in various years [18–20].

N.P. Slavchenko provided a summary of her extensive observations of rare invertebrate species in Central Kazakhstan in the monograph “Rare and Endangered Animals of the Kazakh Upland” [21]. It was suggested that eight species of butterflies, nine species of beetles, three species of true bugs, four species of bumble-bees, wasps, and bees; three species of earthworms; one species of flies and grasshoppers be added to the regional list of protected species [21]. For over two decades, N.P. Slavchenko authored exclusive content for the reference book “Karaganda. Karaganda Oblast: Encyclopedia” (1986, 2008) concerning insect species that adorn the environment and require preservation [22–28].

Over 70 scientific articles on invertebrate animals of Karaganda region were published by N.P. Slavchenko in the proceedings of international scientific and methodological conferences, symposia and colloquia, in journals of Kazakhstan and other countries [29–30]. Recent publications include theses of reports at the XVIII International Colloquium on Soil Zoology (ICSZ 2021) and XV International Colloquium on Apterygota (ICA 2021) in Italy [31, 32].

Is it possible for a naturalist with professional observation skills and an inquiring mind to have a “well-deserved rest”? These individuals inhabit a world wherein everything surrounding them serves as a biological discovery and inspiration source. When it comes to insects, entomologists never grow old. They can recall the challenging Latin names of small bedbugs and terrible larvae, catch even the most evasive beetles with ease, and search in any weather condition for new photo objects of Kazakhstan's fauna to contribute to the iNaturalist website.

Today, Nadezhda Petrovna assiduously continues the work of her mentors, scientists, and educators. She writes scientific articles, develops training materials, works with colleagues on entomological research projects, and willingly helps with invertebrate identification. It is important to emphasize that the scientific school of invertebrate zoology, which was established by B.N. Mukhachev, N.B. Shlykov, N.G. Skopin, and N.P. Slavchenko, is still in operation and producing results at the Faculty of Biology and Geography at Karaganda University.

We wish the jubilee a long and healthy life, creative success, and many fascinating new discoveries!

References

- 1 Вечное имя доброе...: Книга памяти Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова. — Караганда, 2021. — 541 с.
- 2 Славченко Н.П. Почвенная энтомофауна отдельных типов лесных биоценозов Каркаралинского мелкосопочника / Н.П. Славченко // Экспериментальные исследования в химии и биологии: сб. науч. тр. — Караганда, 1974. — С. 182–184.
- 3 Славченко Н.П. Экологическое размещение и видовой состав стафилид (*Coleoptera. Staphilinidae*) в различных типах леса Каркаралинского лесхоза / Н.П. Славченко // Экспериментальные исследования по химии и биологии: сб. науч. тр. — Караганда, 1975. — С. 47–51.
- 4 Славченко Н.П. Почвенная мезофауна лесных биоценозов Каркаралинского горного оазиса / Н.П. Славченко // Проблемы почвенной зоологии: материалы докл. Всесоюз. совещ. — Киев, 1981. — С. 202, 203.
- 5 Славченко Н.П. Особенности распределения жуужелиц (*Coleoptera. Carabidae*) в лесах Каркаралинского лесхоза / Н.П. Славченко // Проблемы почвенной зоологии: материалы докл. Всесоюз. совещ. — Ашхабад, 1984. — Т. 2. — С. 207, 208.
- 6 Славченко Н.П. Почвенная энтомофауна осинника горного (горы Каркаралы, Казахское нагорье) / Н.П. Славченко // Проблемы почвенной зоологии: материалы докл. Всесоюз. совещ. — Тбилиси, 1987. — С. 269, 270.
- 7 Славченко Н.П. К фауне педобитов Талдинского и Каркаралинского лесхозов Карагандинской области / Н.П. Славченко // Проблемы почвенной зоологии: материалы докл. Всесоюз. совещ. — Новосибирск, 1991. — С. 92.
- 8 Славченко Н.П. Почвенная мезофауна рекреационных реликтовых черноольховых лесов Казахского нагорья / Н.П. Славченко, В.С. Абуkenova // Экологическое разнообразие почвенной биоты и биопродуктивность почв: материалы докл. IV (XIV) Всерос. совещ. по почвенной зоологии. — Тюмень, 2005. — С. 239, 240.
- 9 Slavchenko N.P. Geophilous beetles in forest cenoses of the Karkarala game reserve (Kazakhstan upland) / N.P. Slavchenko // Soil fauna and soil fertility: Proceedings of the 9-th International colloquium on soil zoology. — Moscow, 1987. — P. 479–480.
- 10 Slawtschenko N.P. Bodenentomofauna des Karkaralinsker Naturparks (Kasachisches Hochland) / N.P. Slawtschenko // XII Internationales Symposium Über Entomofaunistik in Mitteleuropa. — Kiew, 1988. — P. 151.
- 11 Славченко Н.П. Почвенная энтомофауна лесных ландшафтов Центрально-Казахстанского мелкосопочника / Н.П. Славченко // Депонировано в ВИНТИ № 77052870. — М., 1980. — 143 с.
- 12 Славченко Н.П. Почвенная мезофауна Каркаралинского лесхоза (Центрально-Казахстанский мелкосопочник): автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.П. Славченко. — Баку, 1982. — 22 с.
- 13 Славченко Н.П. Видовой состав и экологическое размещение шелкоунов (*Coleoptera, Elateridae*) в восьми типах леса Каркаралинского лесхоза / Н.П. Славченко // Экспериментальные исследования по химии и биологии: сб. науч. тр. — Караганда, 1975. — С. 51–57.
- 14 Славченко Н.П. Зависимость формирования комплексов полужесткокрылых лесной подстилки от условий лесопроизрастания / Н.П. Славченко // Вопросы экологии растительного и животного мира Центрального Казахстана: сб. науч. тр. — Караганда, 1981. — С. 124–129.
- 15 Славченко Н.П. Материалы по почвенной фауне островных нагорных лесов Центрально-Казахстанского мелкосопочника / Н.П. Славченко // Всесоюзная зоогеографическая конференция: сборник докладов. — Л., 1985. — С. 242–243.
- 16 Славченко Н.П. Почвенные личинки долгоносиков (*Coleoptera, Curculionidae*) лесных ценозов гор Каркаралы / Н.П. Славченко // Морфологические и экологические особенности животного мира Казахстана: сб. науч. раб. — Караганда, 1985. — С. 116–122.
- 17 Капитонов В.И. Комплексная биологическая оценка природных популяций флоры и фауны Каркаралинского природного парка / В.И. Капитонов, Н.П. Славченко, И.М. Анапиев // Депонировано в ВИНТИ № 02910. — М., 1991. — 103 с.
- 18 Славченко Н.П. Методические указания к выполнению индивидуальных, контрольных и зачетных заданий полевой практике / Н.П. Славченко, К.Б. Бекишев. — Караганда, 1985. — 12 с.
- 19 Славченко Н.П. Методические указания для проведения самостоятельных работ студентов по полевой практике «Зоология беспозвоночных» / Н.П. Славченко, В.С. Абуkenova. — Караганда, 2006 — 31 с.
- 20 Славченко Н.П. Глава 2. Беспозвоночные животные / Н.П. Славченко, В.С. Абуkenova // Редкие и исчезающие животные Казахского мелкосопочника. — Павлодар, 2005. — С. 21–54.
- 21 Абдрахманов О.А. Редкие и исчезающие виды животных и растений / О.А. Абдрахманов, В.И. Капитонов, Н.В. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алма-Ата, 1986. — С. 17, 18.
- 22 Славченко Н.П. Красотел пахучий. Ктырь гигантский / Н.П. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алматы, 2008. — С. 323, 324.
- 23 Капитонов В.И. Природа и природные ресурсы. Животный мир / В.И. Капитонов, Н.П. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алматы, 2008. — С. 17–20.

- 24 Славченко Н.П. Шмель пластинчатозубый. Шмель моховой / Н.П. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алматы, 2008. — С. 494.
- 25 Славченко Н.П. Щелкун зеркальный / Н.П. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алматы, 2008. — С. 497.
- 26 Славченко Н.П. Жук носорог / Н.П. Славченко // Караганда. Карагандинская область: энциклопедия. — Алматы, 2008. — С. 242.
- 27 Славченко Н.П. Эколого-фаунистический обзор почвенной мезофауны Каркаралинского национального парка / Н.П. Славченко // Вестник Карагандинского университета. Серия биология, медицина, география. — 1996. — № 3 (96). — С. 127–132.
- 28 Славченко Н.П. Значение почвенного и почвенно-зоологического компонентов в формировании сосновых лесокультур в Казахском мелкосопочнике / Н.П. Славченко, В.С. Абуkenова // Вестн. Черновиц. нац. ун-та. Сер. Биология. — 2005. — Т. 259. — С. 114–119.
- 29 Slavchenko N.P. The Oligochaeta (*Annelida: Clitellata*) of small rivers and damp coenoses of the Central Kazakhstan / N.P. Slavchenko, V.S. Abukenova // The tenth International Symposium on Aquatic Oligochaeta. — Wuhan, 2006. — P. 17.
- 30 Abukenova V.S. Composition and Ecological Structure of the Fauna of Litter and Soil true Bugs (Insecta, Heteroptera) in Kazakh Upland (Central Kazakhstan) Pine Forests / V.S. Abukenova, N.P. Slavchenko, G.T. Kartbayeva, A.B. Myrzabayev, A.B. Yeshmagambetova, N.M. Duzbayeva, M.T. Kabbassova, A.K. Abukenova // Diversity. — 2022. — Vol. 14(8). — Article ID 618. <https://doi.org/10.3390/d14080618>
- 31 Slavchenko N.P. Materials on the bristletails of dry pine forests of Central Kazakhstan / N.P. Slavchenko, V.S. Abukenova // Abstract Book of the Conferences XVIII International Colloquium of Soil Zoology (ICSZ 2021) & XV International Colloquium of Apterygota (ICA 2021). — Bozen/Bolzano, 2021. — P. 128.
- 32 Abukenova V.S. The litter's bugs assemblages in pine forests of Kazakh upland (Central Kazakhstan) / V.S. Abukenova, N.P. Slavchenko // Abstract Book of the Conferences XVIII International Colloquium of Soil Zoology (ICSZ 2021) & XV International Colloquium of Apterygota (ICA 2021). — Bozen/Bolzano, 2021. — P. 85.

А.М. Айтқұлов, В.С. Абуkenова

Жаратылысы бөлек жан

**(Н.П. Славченконың туғанына 80 жыл және
ғылыми-педагогикалық қызметінің 50 жылдығына орай)**

Қарағанды педагогикалық институты, Қарағанды университетінің зоология кафедрасы — педагог-ғалым, топырақ зоологы Надежда Петровна Славченконың өмірімен тығыз байланысты. Ол зоология кафедрасында қырық жылдан астам жемісті еңбек етті. Кәсіби биологтің ғұмырнамалық өмірбаянында Орталық Қазақстанның ең ірі оқу орнындағы ғылыми-педагогикалық кадрларды дайындау барысы ретроспективті түрде көрсетіледі. Қатардағы ассистенттен бастап жетекші доцент, кафедра меңгерушісі қызметіне дейін ұлағатты өмір жолынан өтті. Ғылым жолына түсіп, топырақ зоологиясын зерттеп, өзінің үлесін қосты. Еңбек жолында танымал ғалымдармен, керемет адамдармен жүздесті. Н.П. Славченконың Орталық Қазақстанның омыртқасыз жануарларын стационарлық топырақ-зоологиялық зерттеуі Қазақ елінің қатпарлы плейстоцен кезеңіндегі арал ормандарының фауналық кешенінің реликті сипаты туралы түсінікті тереңдете түседі. Онда омыртқасыздардың 200-ден астам түрі мен 57 тұқымдасының өкілдері сипатталған, олардың бір бөлігінің алғаш рет Сарыарқа немесе Қазақстан аумағында кездесетіндігі айтылған. Мұздан кейінгі кезеңдегі фауналық миграциялық жолы қарастырылған. Н.П. Славченконың шәкірттері оқытушылар және табиғат зерттеушілері болды. Олардың кейбіреулері өздерінің ғылымға деген құштарлығының арқасында зоологиялық зерттеулер жүргізіп, ғылыми диссертациялар қорғады.

Кілт сөздер: Орталық Қазақстан, Қарағанды педагогикалық институтының жаратылыстану факультеті, Қарағанды мемлекеттік университетінің биология факультеті, зоология кафедрасы, омыртқасыз жануарлар, топырақ зоологиясы, энтомология.

А.М. Айтқұлов, В.С. Абуkenова

**Душой с прекрасными и удивительными созданиями
К 80-летнему юбилею и 50-летию научно-педагогической деятельности
Надежды Петровны Славченко**

Карагандинский пединститут, Карагандинский университет, кафедра зоологии — сорок лет жизни и деятельности преподавателя и ученого, почвенного зоолога Надежды Петровны Славченко. На примере творческой судьбы профессионального биолога в ретроспективе показан процесс подготовки научно-педагогических кадров крупнейшего учебного заведения Центрального Казахстана. Становление от ассистента до заведующего кафедрой и ведущего доцента было непростым и происходило при

поддержке старших коллег и руководства молодого университета Караганды. Специализация по почвенной зоологии открыла удивительный непознанный мир и подарила встречи с известными учеными и замечательными людьми. Единственное для Центрального Казахстана стационарное почвенно-зоологическое исследование беспозвоночных животных, выполненное Н.П. Славченко, углубило понимание реликтового характера фаунистического комплекса островных лесов плейстоценового времени Казахской складчатой страны. Были охарактеризованы представители более 200 видов и 57 семейств беспозвоночных, часть из них впервые указана для территории Сары-Арки или Казахстана. Рассмотрены миграционные пути фауны в послеледниковый период. Ученики Н.П. Славченко стали учителями-натуралистами, защитили научные диссертации и сохранили страсть к зоологическим изысканиям.

Ключевые слова: Центральный Казахстан, факультет естествознания Карагандинского педагогического института, биологический факультет Карагандинского государственного университета, кафедра зоологии, беспозвоночные животные, почвенная зоология, энтомология.

References

- 1 (2021). Vechno imia dobroe...: Kniga pamiati Karagandinskogo universiteta imeni akademika E.A. Buketova [The good name is forever...: Book of memory of Karaganda University named after academician E.A. Buketova]. Karaganda, 541 [in Russian].
- 2 Slavchenko, N.P. (1974). Pochvennaia entomofauna otdelnykh tipov lesnykh biotsenozov Karkaralinskogo melkosopchnika [Soil entomofauna of certain types of forest biocenoses of the Karkaraly upland]. *Ekspierimentalnye issledovaniia po khimii i biologii: sbornik nauchnykh trudov — Experimental research in chemistry and biology: collection of scientific papers*. Karaganda, 182–184 [in Russian].
- 3 Slavchenko, N.P. (1975). Ekologicheskoe razmeshchenie i vidovoi sostav stafilid (Coleoptera. Staphilinidae) v razlichnykh tipakh lesa Karkaralinskogo leskhoza [Ecological distribution and species composition of rove beetles (Coleoptera, Staphilinidae) in various forest types of Karkaraly forestry]. *Ekspierimentalnye issledovaniia po khimii i biologii: sbornik nauchnykh trudov — Experimental research in chemistry and biology: collection of scientific papers*. Karaganda, 47–51 [in Russian].
- 4 Slavchenko, N.P. (1981). Pochvennaia mezofauna lesnykh biotsenozov Karkaralinskogo gornogo oazisa [Soil mesofauna of forest biocenoses of the Karkaraly mountain oasis]. *Problemy pochvennoi zoologii: Materialy dokladov Vsesoiuznogo soveshchaniia — Problems of soil zoology: Materials of reports of the All-Union Conference*. Kiev, 202, 203 [in Russian].
- 5 Slavchenko, N.P. (1984). Osobennosti raspredeleniia zhuzhelits (Coleoptera. Carabidae) v lesakh Karkaralinskogo leskhoza [Features of the distribution of ground beetles (Coleoptera. Carabidae) in the forests of the Karkaraly forestry enterprise]. *Problemy pochvennoi zoologii: materialy dokladov Vsesoiuznogo soveshchaniia — Problems of soil zoology: materials of reports of the All-Union Conference*. Ashkhabad, 207, 208 [in Russian].
- 6 Slavchenko, N.P. (1987). Pochvennaia entomofauna osinnika gornogo (gory Karkaraly, Kazakhskoe nagore) [Soil entomofauna of mountain aspen forest (Karkaraly Mountains, Kazakh Highlands)]. *Problemy pochvennoi zoologii: materialy dokladov Vsesoiuznogo soveshchaniia — Problems of soil zoology: materials of reports of the All-Union Conference*. Tbilisi, 269, 270 [in Russian].
- 7 Slavchenko, N.P. (1991). K faune pedobiontov Taldinskogo i Karkaralinskogo leskhozov Karagandinskoi oblasti [To the fauna of pedobionts of the Taldinsky and Karkaralinsky forestry enterprises of the Karaganda region]. *Problemy pochvennoi zoologii: materialy dokladov X Vsesoiuznogo soveshchaniia — Problems of soil zoology: materials of reports of the X All-Union Conference*. Novosibirsk, 92 [in Russian].
- 8 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2005). Pochvennaia mezofauna rekreatsionnykh reliktovykh chernoolkhovykh lesov Kazakhskogo nagoria [Soil mesofauna of recreational relict black alder forests of the Kazakh Highlands]. *Ekologicheskoe raznoobraziie pochvennoi bioty i bioproduktivnosti pochv: materialy dokladov IV (XIV) Vserossiiskogo soveshchaniia po pochvennoi zoologii — Ecological diversity of soil biota and soil bioproductivity: materials of reports of IV (XIV) All-Russian Meeting on Soil Zoology*. Tyumen, 239, 240 [in Russian].
- 9 Slavchenko, N.P. (1987). Geophilous beetles in forest cenoses of the Karkarala game reserve (Kazakhstan upland). *Soil fauna and soil fertility: Proceedings of the 9-th International colloquium on soil zoology*. Moscow.
- 10 Slawtschenko, N.P. 1988. Bodenentomophege des Karkaralinsker Naturparks (Kasachisches Hochland). *XII Internationales Symposium Über Entomofaunistik in Mitteleuropa*, 151. Kiev [in German].
- 11 Slavchenko, N.P. (1980). Pochvennaia entomofauna lesnykh landshaftov Tsentralno-Kazakhstanskogo melkosopchnika [Soil entomofauna of forest landscapes of the Central Kazakhstan upland]. Deponirovano vo Vserossiiskom institute nauchnoi i tekhnicheskoi informatsii, № 770 52870. Moscow [in Russian].
- 12 Slavchenko, N.P. (1982). Pochvennaia mezofauna Karkaralinskogo leskhoza (Tsentralno-Kazakhstanskii melkosopchnik) [Soil mesofauna of the Karkaraly forestry enterprise (Central Kazakhstan upland)]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Baku [in Russian].
- 13 Slavchenko, N.P. (1975). Vidovoi sostav i ekologicheskoe razmeshchenie shchelkunov (Coleoptera. Elateridae) v vosmi tipakh lesa Karkaralinskogo leskhoza [Species composition and ecological distribution of click beetles (Coleoptera. Elateridae) in eight forest types of Karkaraly forestry]. *Ekspierimentalnye issledovaniia po khimii i biologii: sbornik nauchnykh trudov — Experimental research in chemistry and biology: collection of scientific papers*. Karaganda, 51–77 [in Russian].
- 14 Slavchenko, N.P. (1981). Zavisimost formirovaniia kompleksov poluzhestkokrylykh lesnoi podstilki ot uslovii lesoproizrashtaniia [Dependence of the formation of hemipteran complexes on the forest floor on forest growth conditions]. *Voprosy ekologii rastitel'nogo i zhivotnogo mira Tsentralnogo Kazakhstana: sbornik nauchnykh trudov — Issues of ecology of flora and fauna of Central Kazakhstan: collection of scientific papers*. Karaganda, 124–129 [in Russian].

- 15 Slavchenko, N.P. (1985). Materialy po pochvennoi faune ostrovnykh nagornykh lesov Tsentralno-Kazakhstanskogo melkosopochnika [Materials on the soil fauna of island upland forests of the Central Kazakhstan upland]. *Vsesoiuznaia zoogeograficheskaia konferentsiia: sbornik dokladov — All-Union Zoogeographical Conference: collection of reports*. Leningrad, 242, 243 [in Russian].
- 16 Slavchenko, N.P. (1985). Pochvennye lichinki dolgonosikov (Coleoptera. Curculionidae) lesnykh tsenozov gor Karkaraly [Soil larvae of weevils (Coleoptera. Curculionidae) of forest cenoses of the Karkaraly Mountains]. *Morfologicheskie i ekologicheskie osobennosti zhitovnogo mira Kazakhstana: sbornik nauchnykh trudov — Morphological and ecological features of the animal world of Kazakhstan: collection of scientific works*. Karaganda, 116–121 [in Russian].
- 17 Kapitonov, V.I., Slavchenko, N.P. & Anapiev, I.M. (1991). Kompleksnaia biologicheskai otsenka prirodnykh populiatsii flory i fauny Karkaralinskogo prirodnogo parka [Comprehensive biological assessment of natural populations of flora and fauna of the Karkaraly Natural Park]. Deponirovano vo Vserossiiskom institute nauchnoi i tekhnicheskoi informatsii, № 02910. Moscow [in Russian].
- 18 Slavchenko, N.P. & Bekishev, K.B. (1985). Metodicheskie ukazaniia k vypolneniiu individualnykh, kontrolnykh i zachetnykh zadaniu po polevoi praktike [Methodological instructions for completing individual, control and test assignments in field practice]. Karaganda [in Russian].
- 19 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2006). Metodicheskie ukazaniia k vypolneniiu samostoiatelnoi raboty po uchebnoi polevoi praktike «Zoologiiia bespozvonochnykh» [Methodological instructions for performing independent work on educational field practice «Zoology of invertebrates»]. Karaganda [in Russian].
- 20 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2005). Glava 2. Bespozvonochnye zhitovnye [Chapter 2. Invertebrate animals]. *Redkie i ischezaiushchie zhitovnye Kazakhskogo melkosopochnika — Rare and endangered animals of the Kazakh upland*. Pavlodar, 21–54 [in Russian].
- 21 Abdrahmanov, O.A., Kapitonov, V.I. & Slavchenko, N.P. (1986). Redkie i ischezaiushchie vidy zhitovnykh i rastenii [Rare and endangered species of animals and plants]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia*, 17-18. Alma-Ata [in Russian].
- 22 Slavchenko, N.P. (2008). Krasotel pakhuchii. Ktyr gigantskii [The forest caterpillar hunter. Ktyr gigantic]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia* (pp. 323–324). Alma-Ata [in Russian].
- 23 Kapitonov, V.I. & Slavchenko, N.P. (2008). Priroda i prirodnye resursy. Zhitovnyi mir [Nature and natural resources. Animal world]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia*, 17, 20. Almaty [in Russian].
- 24 Slavchenko, N.P. (2008). Shmel plastinchatozubyi. Shmel mokhovoii [Lamellar-toothed carder bee. Moss carder bee]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia*, 494. Almaty [in Russian].
- 25 Slavchenko, N.P. (2008). Shchelkun zerkalnyi [Liotrichus affinis]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia*, 497. Almaty [in Russian].
- 26 Slavchenko, N.P. (2008). Zhuk-nosorog [Rhinoceros beetle]. *Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia — Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia*, 242. Almaty [in Russian].
- 27 Slavchenko, N.P. (1996). Ekologo-faunisticheskii obzor pochvennoi mezofauny Karkaralinskogo natsionalnogo parka [Ecological and faunal review of the soil mesofauna of the Karkaraly National Park]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Serii Biologiia. Meditsina. Geografiia — Bulletin of Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography*, 3 (96), 127–132 [in Russian].
- 28 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2005). Znachenie pochvennoi i pochvenno-zoologicheskoi komponentov v formirovaniu sosnovykh lesokultur v Kazakhskom melkosopochnike [The importance of soil and soil-zoological components in the formation of pine forest crops in the Kazakh upland]. *Vestnik Chernivitskogo natsionalnogo universiteta. Serii Biologiia — Bulletin of Chernivtsi National University. Biology series*, 259, 114–119 [in Russian].
- 29 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2006). The Oligochaeta (Annelida: Clitellata) of small rivers and damp coenoses of the Central Kazakhstan. *The tenth International Symposium on Aquatic Oligochaeta*, 17. Wuhan.
- 30 Abukenova, V.S., Slavchenko, N.P., Kartbayeva, G.T., Myrzabayev, A.B., Yeshmagambetova, A.B., Duzbayeva, N.M., Kabbassova, M.T., & Abukenova, A.K. (2022). Composition and ecological structure of the fauna of litter and soil true bugs (Insecta, Heteroptera) in Kazakh upland (Central Kazakhstan) pine forests. *Diversity*, 14(8), 618. <https://doi.org/10.3390/d14080618>.
- 31 Slavchenko, N.P. & Abukenova, V.S. (2021). Materials on the bristletails of dry pine forests of Central Kazakhstan. *Abstract Book of the Conferences XVIII International Colloquium of Soil Zoology (ICSZ 2021) & XV International Colloquium of Apterygota (ICA 2021)*. Bozen/Bolzano, 128.
- 32 Abukenova, V.S. & Slavchenko, N.P. (2021). The litter's bugs assemblages in pine forests of Kazakh upland (Central Kazakhstan). *Abstract Book of the Conferences XVIII International Colloquium of Soil Zoology (ICSZ 2021) & XV International Colloquium of Apterygota (ICA 2021)*. Bozen/Bolzano, 85.

Information about authors

Aitkulov Aidar Muratovich – Candidate of biological sciences, Associate Professor. Department of Physiology, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; fiziokar@yandex.ru;

Abukenova Veronika Sergeevna – Candidate of biological sciences, Associate Professor, Department of Zoology, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; abu-veronika@yandex.ru.

M.A. Asil^{1*}, K. Beisov², Zh.A. Tokbergenova³, Zh.T. Lesova¹, R.A. Iskenderova⁴,
B. Yrymkhan³, A. Amirova²

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Regional branch "Kainar" LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Fruit and Vegetable Growing",
Almaty region, Kazakhstan;

⁴Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author: madiasunik@gmail.com

Improvement of the potato seed production system on a virus-free basis in Almaty region

This article presents data on the induction of potato microtubers and the potency of different varieties to form microtubers *in vitro*. It has been established that the main factors influencing the process of tuberization in potato regenerated plants are: the concentration of carbohydrates and plant growth regulators in the nutrient medium and physiological state. Experiments were carried out to obtain microtubers from regenerated plants of 4 potato varieties of domestic selection (Alliance, Babaev, Miras and Pamyaty Konaeva) for the selection of virus-free primary material for seed production. As a result, a modified nutrient medium Murasige and Skoog (MS) containing 20 mg/L orotic acid was developed to accelerate the formation of microtuber formation of potato plants *in vitro*.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., microtubers, nutrient medium, *in vitro*.

Introduction

In Kazakhstan, potato (*Solanum tuberosum* L.) is a main food product, and take the second place in terms of importance after bread. Potato planting areas in the republic are approximately 195.0–200.0 thousand ha, the total annual harvest is 3.8–4.0 million tons, and productivity — 18-19 t/ha. If the consumption rate per person is 100 kg, then it is known that we will meet the needs of the population of the republic in marketable potatoes. However, today providing the country's farms with high-quality seed material of potato crops cured of various diseases is becoming an urgent and insoluble problem. One of the reasons for the unsatisfactory situation in potato production is the lack of quality seed material. In many countries, including the Republic of Kazakhstan, during the last 40 years, virus-free healing technology has been introduced into the cultivation of potato seeds using the tip tissue method [1]. *In vitro* production of microtubers has a great future in order to create a stock and collection of potato varieties cured from the mentioned diseases, to preserve them and to increase efficiency in seed production [2].

In vitro method of obtaining microtubers is the most effective way for rapid multiplication of potatoes. According to many authors, the use of microtubers as a planting material in the field will undoubtedly greatly simplify the process of seed production [3, 4]. Compared to standard potato seed tubers, microtubers are superior. First of all, the microtuber removal method prevents its re-infection, so they are completely neutralized from the pathogen. Due to their small size and weight, they are very convenient for storage and transportation. Microtubules can be obtained in artificial culture medium at any time in the laboratory. Storage of a collection of varieties in the form of microtubers ensures their complete isolation from pathogens [4]. Many researchers have shown the importance of nutrient medium composition for the induction of healthy microtubules *in vitro* [5].

According to scientists' research, the use of substances that regulate growth activity in modern technologies of potato cultivation is an important factor that increases its reproduction rate and productivity [6]. Growth regulators for the treatment of vegetative plants are a type of biological catalyst, immunomodulator and adaptogen [7]. They activate vital physiological processes of plants, increase their productivity, and also provide resistance to diseases and adverse environmental stresses [8]. The main regulatory factor of plant growth is their growing nutrient medium, and an important condition for plant growth is the presence of plant growth regulators (PGR) in the nutrient medium [9].

In this situation, it is very important to find effective ways to optimize the process of breeding unique seeds treated for diseases, to find and effectively use the most productive and economical ways to obtain treated raw materials in order to reduce the required material, labor and energy resources and reduce the cost of production.

The purpose of the research is to obtain microtubers from regenerated plants of domestic potato varieties cured of diseases *in vitro* and optimize the composition of the nutrient media for the rapid production of microtubers from regenerated plants on the basis of microclonal propagation.

Experimental

In cooperation with scientists from the department of potato breeding, seed production and biotechnology of the regional branch of the KazNII of the fruit and vegetable industry, “Kainar” LLP, research work was carried out in the direction of improving the virus-free potato seed production system.

There are 1,800 samples from 35 countries of the world in the potato gene pool of the “Kaynar” regional branch, including samples of 46 wild and 279 cultivated types of potatoes. According to the origin, half of it or 50% of varieties and interspecies hybrids of Russian selection, 19% of European countries, 18% of Kazakh selection, 13% of the rest of the world. Therefore, the development of seed production of promising domestic potato varieties adapted to the soil and climatic conditions of our country is an urgent issue. As an object of study, we used regenerated plants grown *in vitro* from potato varieties of domestic selection Alliance, Babaev, Miras and Pamyaty Konaeva, which are characterized by high productivity, disease resistance and are more adapted to the soil and climatic conditions of the Almaty region, as well as selected for results of market research and demand from farmers.

The method of isolation of apical meristems was used to obtain the initial material of potatoes according to the recommendations of domestic and foreign scientists [2–5]. Murasige and Skoog (MS) medium was modified and purified according to the components. MS medium supplemented with high concentrations of sucrose and different concentration and combination of PGR (6-benzylaminopurine (BAP), kinetin, adenine, heteroauxin) used as inducers of microtuber formation. Increase the concentration of carbohydrate in MS medium was achieved by using the following concentrations of sucrose 40.000 mg/L, 60.000 mg/L, 80.000 mg/L, 100.000 mg/L, 120.000 mg/L and 140.000 mg/L or from 4 up to 14%. MS medium containing 20,000 mg/L (20%) sucrose was used as a control. In the course of research, the influence of sucrose and PGR concentration in the nutrient medium on the formation of tubers, as well as the temperature regime during storage of microtubers, was determined. In order to obtain potato microtubers *in vitro*, the scientists of the regional branch of the KazNII of the fruit and vegetable industry, “Kainar” LLP, increased the content of sugars, changed the content of phytohormones in the nutrient medium, etc. according to the developed recommendations and methods of microtuber induction [9, 10].

The evaluation of the results was determined when tubers appeared on the roots of the plant. The regenerated plants were grown under aseptic conditions, in laminar boxes, in glass test tubes and flasks filled with a nutrient medium with tuberization inductors. The influence of various physical factors on the growth of plants and the formation of microtubules in them is considered. The grafted plants were initially placed in a permanently dark chamber, and after 4-5 days they were transferred to the light, the photoperiod was 16/8 hours. Plants were grown in a phytotron at a temperature of 22°C.

At the initial stage of microsprout cloning, the 1st cultivation was carried out in September using initial plants isolated from the *in vitro* collection. The 2nd and 3rd cultivation was carried out in October and November. All parts of the plants, upper, middle and lower, were used to obtain microtubers.

Results

Studies have made it possible to determine the potency of various potato varieties to form tubers *in vitro*. The ability to form microtubers depended primarily on the biological characteristics of varieties, growing conditions, the optimal combination of PGR, the concentration of sucrose and other components that positively contribute to the formation of tubers.

The results of the study showed that with an increase in the content of sucrose in the nutrient medium to 80.000 mg/L, tuberization in all tested potato varieties reached about 60.0% (Fig. 1).

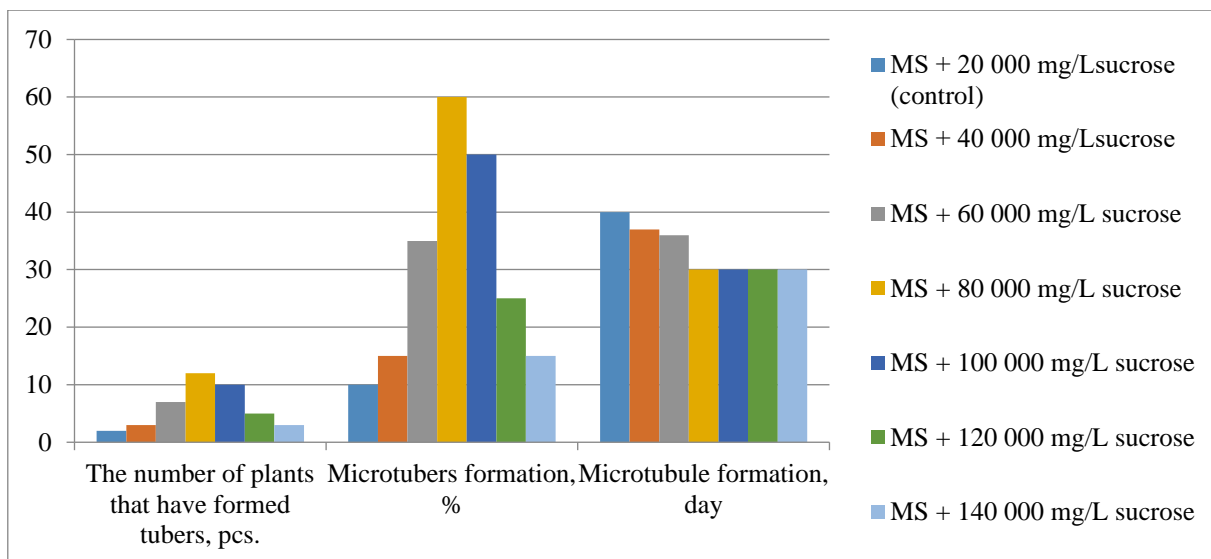


Figure 1. Foration of microtubers in potato plants on MS-medium with different concentrations of sucrose.

It has been established that an increase in the concentration of sucrose (100.000, 120.000 and 140.000 mg/L) in the nutrient medium leads to a decrease in tuberization of potato plants. Thus, it was found that the amount of carbohydrates in the artificial nutrient medium, exceeding 80.000 mg/L, adversely affects the formation of microtubers in potato plants. In addition, it was found that the time of formation of microtubers in the studied varieties in all variants was 30–40 days, and the concentration of carbohydrates in the nutrient medium did not contribute to the acceleration of tuberization.

At the next stage of the study, the effect of various concentrations of sucrose on the formation of the biomass of microtubules formed *in vitro* was determined. As a result of the study, it was found that the addition of 8% or 80.000 mg/L of sucrose to the MS medium showed a positive effect on increasing the number, size and mass of microtubers in plants.

The data in Table 1 show that the biological characteristics of potato varieties have a significant impact on the ability of plants to form microtubers. The number of microtubers of varieties Alliance, Babaev, Miras and Pamyaty Konaeva was 1.6–1.9 pcs per plant in the variant of MS medium with 80,000 mg/l of sucrose, and in the control variant only 0.8–1.0 pieces of microtubers were formed per plant.

Table 1

Effect of different concentrations of sucrose in the MS medium on biomass of microtubers obtained *in vitro* from potato varieties

Variety	Nutrient media	The number of microtubers per 1 plant, pcs.	Size of 1 microtuber, mm	Weight of 1 microtuber, mg
Alliance	MS + 20 000 mg/Lsucrose (control)	1.0	5.0	163.0
	MS + 40 000 mg/Lsucrose	1.0	5.3	168.2
	MS + 60 000 mg/L sucrose	1.3	5.5	189.0
	MS + 80 000 mg/L sucrose	1.7	6.0	196.7
Babaev	MS + 20 000 mg/L sucrose (control)	0.8	5.1	159.0
	MS + 40 000 mg/L sucrose	0.9	5.6	182.3
	MS + 60 000 mg/L sucrose	1.3	5.8	186.7
	MS + 80 000 mg/L sucrose	1.9	6.1	193.1
Miras	MS + 20 000 mg/L sucrose (control)	1.0	5.2	164.0
	MS + 40 000 mg/L sucrose	1.0	5.3	166.5
	MS + 60 000 mg/L sucrose	1.2	5.5	174.2
	MS + 80 000 mg/L sucrose	1.6	6.5	188.7
Pamyaty Konaeva	MS + 20 000 mg/L sucrose (control)	1.0	5.0	160.0
	MS + 40 000 mg/L sucrose	1.3	5.3	166.0
	MS + 60 000 mg/L sucrose	1.4	5.8	179.3
	MS + 80 000 mg/L sucrose	1.9	6.2	200.0

Depending on the genotype of the tested potato varieties, the volume of 1 microtuber in the experimental variants was 5.3–6.2 mm, and in the control — 5.0–5.1 mm. The weight of 1 microtuber in the experimental variant was 166.0–200.0 mg, in the control — 159.0–164.0 mg.

The highest indicator in terms of the number of microtubers per 1 plant, the size and weight of microtubers was observed on the variant of the MS medium with 80,000 mg/l of sucrose. Among the tested cultivars, the cultivar Pamyaty Konaeva according to the specified version stood out with high rates. The number of tubers per 1 plant of the named variety in the experimental variant was 1.9 pcs, in the control variant — 1.0 pcs. The volume of 1 microtuber was 6.2 mm in the experimental variant and 5.0 in the control variant, and the weight of 1 tuber was 200.0 mg in the experimental variant and 160.0 mg in the control.

To accelerate the formation of microtubers, various concentrations of orotic acid (from 10 to 30 mg/L) were added to the artificial nutrient medium, and an effective variant of the medium was identified. Murasige-Skoog medium supplemented with 80,000 mg/L sucrose was used as a control. It was established that the addition of 20 mg/L of saturated orotic acid to the nutrient medium contributed to the formation of plant microtubers *in vitro* in a short period of time. In addition, it was found that the degree of tuberization in the selected experimental variant was higher than in the control (Table 2).

Table 2

The effect of orotic acid on *in vitro* tuberization in potato varieties

Nutrient media	Microtuber formation, %			
	10 days	20 days	30 days	40 days
Alliance				
MS + 80 000 mg/L sucrose (control)	23.5	32.0	50.0	56.0
MS + 80 000 mg/L sucrose+ 10 mg/L orotic acid	32.0	35.0	52.0	64.6
MS + 80 000 mg/L sucrose + 20 mg/L orotic acid	38.0	49.9	63.0	79.0
MS + 80 000 mg/L sucrose + 30 mg/L orotic acid	38.0	50.0	63.0	79.0
Babaev				
MS + 80 000 mg/L sucrose (control)	29.0	33.0	48.0	52.0
MS + 80 000 mg/L sucrose + 10 mg/L orotic acid	32.3	33.6	49.8	57.0
MS + 80 000 mg/L sucrose + 20 mg/L orotic acid	35.0	51.0	76.8	80.0
MS + 80 000 mg/L sucrose + 30 mg/L orotic acid	35.0	51.0	76.0	78.0
Miras				
MS + 80 000 mg/L sucrose (control)	28.9	34.0	44.5	49.0
MS + 80 000 mg/L sucrose + 10 mg/L orotic acid	36.0	58.0	66.0	86.2
MS + 80 000 mg/L sucrose + 20 mg/L orotic acid	44.0	89.8	100	-
MS + 80 000 mg/L sucrose + 30 mg/L orotic acid	44.1	89.8	98.0	-
Pamyaty Konaeva				
MS + 80 000 mg/L sucrose (control)	30.0	30.0	48.0	53.2
MS + 80 000 mg/L sucrose + 10 mg/L orotic acid	37.2	56.8	68.1	85.3
MS + 80 000 mg/L sucrose + 20 mg/L orotic acid	45.2	83.6	100	-
MS + 80 000 mg/L sucrose + 30 mg/L orotic acid	45.2	83.6	100	-

According to the results of the study, it was found that a nutrient medium containing orotic acid at a concentration of 20.0 mg/l is optimal for the rapid formation of microtubers in all potato varieties. In this variant, the formation of microtubers of potato varieties Miras and Pamyaty Konaeva for 30 days was 100%, and in the control variant, the formation of microtubers of these varieties on the 40th day was only 49.0–53.2%. In the experimental variant, the formation of tubers in potato plants of the Alliance variety was 79.0%, and in the Babaev variety — 80.0% in 40 days.

Thus, in the process of accelerating the process of microtuber formation, the effectiveness of the MS nutrient medium containing 20 mg/L of orotic acid was shown. This modified Murasige and Skoog nutrient medium has been proposed to accelerate the formation of microtubers in potato plants *in vitro* (Table 3).

Table 3

The composition of the modified MS medium to accelerate the growth of microtubers of potato varieties *in vitro*

№	Components	Concentration, mg/L
Macroelements		
1	NH ₄ NO ₃	1650
2	KNO ₃	1900
3	CaCl ₂ · 2H ₂ O	440
4	MgSO ₄ · 7H ₂ O	-
5	KH ₂ PO ₄	370
6	Na ₂ ЭДТА	170
7	FeSO ₄ * 7H ₂ O	37,3
Microelements		
8	H ₃ BO ₃	6,2
9	MnSO ₄ · 4H ₂ O	22,3
10	KnSO ₄ · 4H ₂ O	8,6
11	KI	0,75
12	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0,025
13	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0,25
14	CoCl ₂ · 6H ₂ O	0,025
Vitamins		
15	Thiamine (B ₁)	1,0
16	Ascorbic acid (C)	2,0
17	Pyridoxine (B ₆)	1.0
Growth regulators		
18	Orotic acid	20,0
19	Gibberellic acid	2 mg/L
Carbohydrates		
20	Sucrose	80 000or 8%
Other reagents		
21	Casein hydrolysate	40,0 g
22	Agar-agar	6-7 g
	pH	5,7-5,8

The data of many studies show that potato microtubers appear only in cuttings taken from the middle and lower parts of plants [6–8]. In our studies, it was found that most microtubers are formed in the middle part of potato plants.

Discussion

Experiments were carried out on the induction of microtubers from potato regenerated plants obtained *in vitro* from varieties of domestic selection Alliance, Babaev, Miras and Pamyaty Konaeva. Two types of tuberization have been identified: the first one is in plant shoots developing from cuttings; the second — in the axils of the leaves of plants grown from cuttings.

During the experiment, we observed that growing cuttings at a 16-hour light period, and then transferring them to a dark place, then micronodules usually appear on the shoots. If, after planting, the cuttings of the plant were immediately transferred to a dark place, microtubers develop mainly in the axils of the leaves [10].

Conclusion

In the process of optimizing the conditions for obtaining microtubers from plants grown on an artificial nutrient medium *in vitro*, it was shown that tuberization in all tested potato varieties was 60.0% with an increase in the sucrose content in the nutrient medium to 80.000 mg/L. As sucrose saturation increased (100.000, 120.000 and 140.000 mg/L), a decrease in the ability of potato plants to form tubers in a nutrient medium was observed. Thus, the concentration of carbohydrates in the nutrient medium in excess of 80,000 mg/L has a negative effect on the formation of microtubers in potato plants.

It was shown that when studying the formation of microtubers in potato varieties *in vitro*, an increase in sucrose to 80,000 mg/L positively affects the increase in the number, size and weight of microtubers formed on plants. The addition of 20.0 mg/L of saturated orotic acid to the culture medium as an inducer contributed to the acceleration of microtubule formation, showing higher rates compared to the control. In this variant of the medium, depending on the biological characteristics of the variety, 100% of microtubers were formed after 20, 30 days, and in the control variant, the formation of microtubers reached 95% only on the 40th day. As a result of the study, a modified Murasige and Skoog nutrient medium was proposed for the rapid induction of potato microtubers *in vitro*.

References

- 1 Продовольственная и сельскохозяйственная программа Организации Объединенных Наций // FAO. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fao.org/home/>
- 2 Бабаев С.А. Восстановление коллекционных образцов картофеля при восстановлении и клональном микроразмножении / С.А. Бабаев, Ж.А. Токбергенова // Развитие основных направлений сельскохозяйственной науки в Казахстане, селекция, биотехнология, генетические ресурсы: материалы Междунар. конф. — Астана, 2004. — С. 335–340.
- 3 Картофельный рынок. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.potatosystem.ru/rynok-kartofelya-sezon-2017>.
- 4 Анисимов Б.В. Оптимизация технологических схем и объемов производства материала и мелких клубней *in vitro* в процессе производства оригинальных семян картофеля / Б.В. Анисимов // Выращивание картофеля: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля». — М., 2014. — С. 158–163.
- 5 Усков А.И. Безвирусное семеноводство картофеля / А.И. Усков, Л.Н. Трофимов, В.В. Бойко, Б.В. Анисимов. — М., 1990. — С. 30–33.
- 6 Heldak J. Selection of valuable potato genotypes with introduced resistans genes derived from wild species / J. Heldak // Agriculture Polnohospodarstvo. — 2009. — Vol. 55, No 3. — P. 133–139.
- 7 Усков А.И. Воспроизводство оздоровленного исходного материала для семеноводства картофеля: обоснование стратегии / А.И. Усков // Достижения науки и техники АПК. — 2009. — № 6. — С. 30–33.
- 8 Анисимов Б.В. Особенности выращивания микроклубней в тоннельных укрытиях и проверка их качества методом грунт-контроля / Б.В. Анисимов, И.С. Карданова, С.И. Логинов // Картофелеводство: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля». — М., 2017. — С. 230–240.
- 9 Токбергенова Ж.А. Индукция микроклубней картофеля *in vitro*. Лабораторный регламент / Ж.А. Токбергенова, С.А. Бабаев, В.С. Абдидаев, В.К. Швидченко, В.Т. Хасанов. — Алматы: Алейрон, 2010. — 25 с.
- 10 Токбергенова Ж.А. Микроклубни: производства семенного материала картофеля инновационными методами. Рекомендации / Ж.А. Токбергенова, С.А. Бабаев, А.Е. Сагатов, Б.Р. Амренов, Д.У. Тогаева. — Алматы: Тугаль-Print, 2017. — 44 с.

М.Ә. Әсіл, Қ. Бейсов, Ж.Ә. Токбергенова, Ж.Т. Лесова, Р.А. Искендинова,
Б. Ырымхан, А. Әмірова

Алматы облысы жағдайында картоптың тұқым шаруашылығының вируссыз негіздегі жүйесін жетілдіру

Мақалада *in vitro* жағдайда картоп микротүйнектерін индукциялау және әртүрлі сорттардың микро-түйнек түзу қабілеттері туралы деректер берілген. Картоптың өсімдіктер-регенеранттарынан түйнектердің пайда болуына әсер ететін негізгі факторлар қоректік ортадағы көмірсулар мен өсімдіктердің өсу реттегіштерінің концентрациясы және өсімдіктің физиологиялық жағдайы екені анықталды. Отандық селекциядағы картоптың *Альянс*, *Бабаев*, *Мирас* және *Памяти Конаева*, яғни осы 4-сорттың микротүйіндерін алу үшін тәжірибелер жүргізілді. Нәтижесінде *in vitro* картоп өсімдіктерінде микро-түйінділердің түзілуін жеделдету үшін құрамында 20 мг/л орот қышқылы бар модификацияланған *Мурасиге* және *Скугага* қоректік орта жасалды.

Кілт сөздер: *Solanum tuberosum* L., микротүйнектер, қоректік орта, *in vitro*.

М.Э. Әсіл, К. Бейсов, Ж.Ә. Токбергенова, Ж.Т. Лесова, Р.А. Искендинова,
Б. Ырымхан, А. Амирова

Совершенствование системы семеноводства картофеля на безвирусной основе в условиях Алматинской области

В статье приведены данные об индукции микроклубней картофеля в культуре *in vitro*, и выявлена способность различных сортов формировать микроклубни. Установлено, что основными факторами, влияющими на клубнеобразование в растениях-регенерантах картофеля, являются концентрация углеводов и регуляторов роста растений в питательной среде и физиологическое состояние растения-регенеранта. Проведены опыты по получению микроклубней 4-х сортов картофеля отечественной селекции: *Альянс*, *Бабаев*, *Мирас* и *Памяти Конаева*. В результате разработана модифицированная питательная среда *Мурасиге* и *Скуга*, содержащая 20 мг/л оротической кислоты, для ускорения образования микроклубней у растений картофеля *in vitro*.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., микроклубни картофеля, питательная среда, *in vitro*, отечественная селекция.

References

- 1 *Prodovolstvennaia i selskokhoziaistvennaia programma Organizatsii Obiedinennykh Tatsii / FAO [Food and agricultural program of UN/FAO]*. Retrieved from <http://www.fao.org/home/> [in Russian].
- 2 Babaev, S.A., & Tokbergenova, Zh.A. (2004). Vosstanovlenie kolleksiionnykh obraztsov kartofelia pri vosstanovlenii i klonalnom mikrorazmnozhenii [Recovery of potato collection specimens by regeneration and clonal micropropagation]. *Razvitie osnovnykh napravlenii selskokhoziaistvennoi nauki v Kazakhstane, selektsiia, biotekhnologiia, geneticheskie resursy: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii — Development of the main directions of agricultural science in Kazakhstan, breeding, biotechnology, genetic resources: materials of the international conference*. Astana, 335–340 [in Russian].
- 3 *Kartofelnyi rynek [Potato market]*. Retrieved from <http://www.potatosystem.ru/rynok-kartofelya-sezon-2017> [in Russian].
- 4 Anisimov, B.V. (2014). Optimizatsiia tekhnologicheskikh skhem i obemov proizvodstva materiala i melkikh klubnei *in vitro* v protsesse proizvodstva originalnykh semian kartofelia [Optimization of technological schemes and volumes of production of *in vitro* material and small tubers in the process of production of original potato seeds]. *Vyrashchivanie kartofelia: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Metody biotekhnologii v selektsii i semenovodstve kartofelia» — Potato Breeding: materials of the International Scientific and Practical Conference “Methods of Biotechnology in Potato Breeding and Seed Production”*. Moscow, 158–160 [in Russian].
- 5 Uskov, A.I., Trofimov, L.N., Boiko, V.V., & Anisimov, B.V. (1990). *Bezvirusnoe semenovodstvo kartofelia [Virus-free potato seed production]*. Moscow, 30–33 [in Russian].
- 6 Heldak, J. (2009). Selection of valuable potato genotypes with introduced resistans genes derived from wild species. *Agriculture Polnohospodarstvo*, 55(3); 133–139.
- 7 Uskov, A.I. (2009). Vosproizvodstvo ozdorovlennogo iskhodnogo materiala dlia semenovodstva kartofelia: obosnovanie strategii [Reproduction of improved source material for potato seed production: strategy rationale]. *Dostizheniia nauki i tekhniki Agropromyshlennogo kompleksa — Achievements of science and technology of agro-industrial complex*, 6, 30–33 [in Russian].
- 8 Anisimov, B.V., Kardanova, I.S., & Loginov, S.I. (2017). Osobennosti vyrashchivaniia mikroklubnei v tonelnykh ukrytiiakh i proverka ikh kachestva metodom grunt-kontrolia [Peculiarities of microtubers cultivation in tunnel shelters and their quality check by soil-control method]. *Vyrashchivanie kartofelia: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Metody biotekhnologii v selektsii i semenovodstve kartofelia» — Potato Breeding: Materials of the International Scientific and Practical Conference “Methods of Biotechnology in Potato Breeding and Seed Production”*. Moscow, 230–240 [in Russian].
- 9 Tokbergenova, Zh.A., Babaev, S.A., Abdidaev, V.S., Shvidchenko, V.K., & Khasanov, V.T. (2010). *Indukttsiia mikroklubnei kartofelia in vitro. Laboratornyi reglament [Induction of potato microtubers in vitro. Laboratory regulations]*. Almaty: Aleiron [in Russian].
- 10 Tokbergenova, Zh.A., Babaev, S.A., Sagatova, A.E., Amrenov, B.R., & Togaeva, D.U. (2017). *Mikroklubni: proizvodstva semennogo materiala kartofelia innovatsionnymi metodami. Rekomendatsii [Microtubers: potato seed production by innovative methods. Recommendations]*. Almaty: Tugal-Print [in Russian].

Information about authors

Asil, Madi Abdimomynovich — PhD-student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, madiasunik@gmail.com;

Beisov, Kuanysh — Master student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ku-ka.beisov@icloud.com;

Tokbergenova, Zhursinkul Abdugapparovna — Candidate of agricultural sciences, Associate Professor, Head of the Department of Breeding, Seed Production and Biotechnology of Potatoes, Kainar Re-

gional Branch, Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing, Kaynar village, Karasay district, Almaty region; zh.tokbergenova@mail.ru;

Lesova, Zhanikha Tureevna — Candidate of biological sciences, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; zhaniha_lesova@mail.ru;

Iskendirova, Rabiga Abdugafarovna — Associate Professor, Kazakh National Agrarian and Pedagogical University, Almaty Kazakhstan; iskendirova.rabiga@yandex.ru;

Yrymkhan, Bagdangul — Junior Researcher of the Potato Breeding, Seed Production and Biotechnology Department of the Kainar Regional Branch Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing, Kaynar village, Karasay district, Almaty region, Kazakhstan; bagdangul8484@mail.ru;

Amirova, Aigul Kuzembayevna — Candidate of biology sciences, Senior Lecturer of the Department of Molecular Biology and Genetics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aigul_amir@mail.ru.

M.K. Smagulov, A.T. Serikbay, A.Zh. Alimzhanova, D.V. Ageev, A.Sh. Dodonova*

Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

**Corresponding author: sasha_dodonova1@mail.ru*

The influence of humates produced by “Shubarkol Komir” JSC on the germination of seed material of various vegetable crops

The biological activity of humid substances is manifested in increasing the resistance of plants to unfavorable factors and stimulating their metabolic processes, which has a positive effect on the growth characteristics of both seed material and the vegetative part of the whole plant. The article examines the influence of humates produced by “Shubarkol Komir” JSC during pre-sowing soaking on the germination of seed material of various cultivated plants, and assessed their antifungal activity. Commercial humates “Ideal”, “Gumate 7+”, and “Biomaster” humates were used as comparison preparations. In the experiments, seed material of the following crops and varieties was used: tomato, Siberian Yabloko variety; eggplant, Caviar Paradise variety; sweet pepper, D'Artagnan variety; water cress, Abundant-leaved variety; radish, grade “5+”; nut. For tomato and sweet pepper, the best content of humates in the solution for soaking seed material was 0.5%, for eggplant, watercress, radish and chickpeas – 0.1%. The effectiveness and antifungal activity of “Shubarkol Komir” humate is not inferior to commercial drugs used as reference drugs.

Keywords: humates, seed material, pre-treatment, germination, germination energy, antifungal activity.

Introduction

The following types of humates are distinguished depending on the predominant content of one or another element — potassium, sodium and enriched with microelements.

They offer three main ways to use new generation humates in crop production: applying the preparations directly to the soil with fertilizers, seeds, and watering; pre-sowing treatment of seed or other planting material, possibly in combination with fungicidal preparations; spraying green vegetative plants is also possible together with pesticides of various groups [1].

The biological activity of humates consists in their influence on the resistance of plants to unfavorable factors, as well as in the stimulation of metabolic processes, which leads to better growth characteristics, especially in the initial stages of plant development. This is due to the presence of mineral components and organic acids in humates, which contributes to the activation of plant growth processes and their protective mechanisms. Pre-sowing treatment of seed material reduces the development of bacterial and fungal infections of seedlings and adult plants.

Due to the intensification of agriculture, as well as difficult climatic conditions in the region, the use of humic preparations is becoming increasingly relevant and in demand [2–6].

Based on humates from weathered coals of the Shubarkol deposit, a humic fertilizer has been developed, which can increase the soil fertility of Central Kazakhstan, and also solves the problem of waste, since previously this group of coals was stored without use.

Evaluation of the positive effect of humates on indicators such as germination, germination energy of seed material, inhibition of the development of phytopathogenic mycoflora, will allow us to recommend the widespread use of this fertilizer produced by Shubarkol Komir JSC.

Experimental

The object of research was humates provided by “Shubarkol Komir” JSC, as well as commercial solutions of humates as reference preparations: humate “Ideal”, “Gumate 7+”, humate “Biomaster”.

The tested humates produced by “Shubarkol Komir” JSC (hereinafter referred to as GS) were diluted in concentrations of 0.1%, 0.01%, 0.5%, 0.05% and 0.005%. Solutions of commercial humates were prepared according to the attached instructions.

The seeds of the following crops were taken into the experiment:

- tomato, Siberian Apple variety;
- eggplant, Caviar Paradise variety;

- bell pepper, D'Artagnan variety;
- watercress, Abundant-leaved variety;
- radish, grade "5+";
- nut.

Before sowing, seeds were soaked for 24 hours in solutions of humates of various concentrations. Distilled water was used as a control. Experiments were carried out in quadruple repetition. Seed germination was assessed in laboratory conditions using standard methods [7–9]. Germination was carried out in Petri dishes on filter paper.

When germinating seed material, the degree of damage to seedlings and germinating seeds by fungal diseases was assessed. Thus, minor fungal infection (+) – damage to 5–10% of seeds and seedlings, moderate fungal infection (++) to 30% of seeds and seedlings; significant damage (+++) – from 30 to 50%; severe (++++) – more than 50% of seeds and seedlings are damaged.

Results and Discussions

The results obtained as a result of germination of seed material of various vegetable crops after pre-treatment in solutions of humates of various concentrations are presented in Tables 1, 2.

In tomatoes, the best results among comparison products were obtained with "Humate 7+" - 90.0% ± 4.5 germination energy and 100% germination rates. The same growth characteristics were obtained with solutions of Shubarkol Komir humates at a concentration of 0.5%. Control values are 15% less.

When pre-treating bell pepper seeds, the best results among commercial preparations were shown by humate "Ideal" — germination energy — 60.4%±3.3 and germination — 75.0%±2.37. The use of GS in a concentration of 0.5% led to the manifestation of better growth characteristics of pepper seed material, 83.0% ± 4.5 and 96.0% ± 4.62 germination energy and germination, which is more than 20% higher than corresponding indicators for the best comparison drug considered. If we compare the data obtained with the drug "Gumate 7+", then the growth characteristics after treating seeds with GS 0.5% will be 7.5 and 6 times higher, respectively.

The eggplant seed material of the Caviar Paradise variety showed the lowest germination energy and germination rate of all the studied cultivated plants: 22.3%±0.99 and 36.0%±1.3, respectively. The most effective of the commercial humate solutions used, "Biomaster," increased the growth performance of eggplant seed material of the studied variety to 35.0% ± 1.06 — germination energy and up to 50.5% ± 1.5 — germination. Indicators comparable to these data were obtained when seed material was treated with Shubarkol Komir humate at a concentration of 0.1%: 36.3±1.3 — indicators of germination energy and 54.5±1.5 — germination. A decrease in the content of humates in the solution for pre-treatment of seeds led to a decrease in growth characteristics, but not below control values.

Table 1

The influence of different concentrations of humates on the energy of germination of seed material of the studied crops

Experience option	Tomato	Sweet pepper	Watercress	Radish	Eggplant	Chickpeas
GS 0,1%	75,4±3,2	65,4±2,9	55,5±1,78	100,0	36,3±1,3	52,5±1,66
GS 0,5%	89,6±4,6	83,0±4,5	52,5±2,6	20,0±0,14	26,8±0,4	46,0±0,8
GS 0,01 %	77,3±3,5	25,5±1,2	72,5±4,75	58,0±1,3	30,3±1,8	48,2±1,9
GS 0,05%	80,2±3,3	58,3±2,2	70,0±6,67	65,0±3,4	26,3±0,3	50,0±1,71
GS 0,005%	55,8±2,5	45,0±1,8	65,0±4,1	87,0±3,8	30,0±0,7	32,5±0,93
Gumate Ideal	80,2±4,0	60,4±3,3	47,5±3,54	65,0±1,2	30,5±1,4	45,0±1,74
Gumate Bio-master	79,3±3,2	10,2±0,6	51,5±3,44	55,0±1,8	35,0±1,06	45,0±1,74
Gumate 7+	90,0±4,5	11,4±0,8	60,0±3,21	45,0±1,5	25,5±1,32	25,0±0,33
Control, water	75,4±2,8	75,5±3,8	65,0±4,14	75,0±3,7	22,3±0,99	0

Pre-sowing treatment of watercress seed material with humate solutions did not lead to a significant increase in growth performance; almost all experimental options were worse or at the same level as the control values. Moreover, the effectiveness of commercial preparations turned out to be lower than that of the studied humate produced by Shubarkol Komir. Among the concentrations under consideration, the best result of

germination energy and germination was obtained when seed material was treated with a 0.01% HS solution: $72.5\% \pm 4.75$ and $86.0\% \pm 5.66$, respectively.

Interesting results were obtained when studying the effect of pre-treatment of radish seed material with humates. Firstly, seed treatment with commercial preparations led to a decrease in growth rates compared to control values.

Secondly, radish seeds soaked in Shubarkol Komir humates had a high growth rate; germination energy in almost all experimental variants coincides with germination, which indicates rapid and friendly seed germination. The solution with a concentration of 0.1% had the best efficiency, and germination and germination energy in this case were 100%.

Table 2

The influence of different concentrations of humates on the germination of seed material of the studied species

Experience option	Tomato	Sweet pepper	Watercress	Radish	Eggplant	Chickpeas
GS 0,1%	86,5±4,59	87,7±4,74	59,5±2,78	100,0	54,5±1,5	60,0±2,71
GS 0,5%	100	96,0±4,62	57,0±2,7	20,0±0,14	52,5±2,37	54,2±2,0
GS 0,01 %	80,0±4,14	41,1±0,31	86,0±5,66	60,0±1,14	43,8±0,73	55,6±1,8
GS 0,05%	86,7±4,33	76,2±3,26	76,0±3,08	65,0±3,4	32,3±0,7	57,5±1,53
GS 0,005%	69,3±1,75	60,2±3,61	76,5±2,12	91,0±2,73	49,3±0,7	47,5±1,66
Gumate Ideal	93,3±5,16	75,0±2,37	52,5±1,61	75,0±3,4	41,3±0,44	57,5±2,89
Gumate Bio-master	86,7±3,16	23,8±2,91	59,5±2,51	65,0±1,07	50,5±1,5	52,5±1,86
Gumate 7+	100	16,7±0,86	70,4±4,5	50,0±2,5	37,0±1,6	55,0±1,77
Control, water	87,5±4,13	83,75±5,46	85,0±4,11	80,2±2,8	36,0±1,3	0

The chickpea seed material in the control, without pre-treatment with humates, did not sprout, i.e. we can conclude that this crop requires mandatory pre-sowing preparation. The growth indices of seeds that underwent pre-sowing treatment with the studied humates produced by Shubarkol Komir are similar to the data obtained from seeds treated with comparison preparations. The best option is a solution with a GS concentration of 0.1%, the germination energy was $52.5\% \pm 1.66$; germination — $60.0\% \pm 2.71$.

In addition, the ability of humate solutions to suppress the development of phytopathogenic fungi was investigated (Table 3).

Almost all types of seeds were damaged to one degree or another by mold fungi in the control; chickpea seeds experienced the greatest damage; more than 50% of the seed material was damaged.

Table 3

Comparison of the degree of damage by phytopathogens to seed material of various vegetable crops after pre-treatment with humates

Experience option	Tomato	Sweet pepper	Watercress	Radish	Eggplant	Chickpeas
GS 0,1%	-	-	-	-	-	-
GS 0,5%	-	-	-	-	-	-
GS 0,01 %	-	-	-	-	-	-
GS 0,05%	-	-	-	-	-	-
GS 0,005%	+	-	-	-	-	+
Gumate Ideal	+	-	-	-	-	++
Gumate Bio-master	+	-	-	-	-	+
Gumate 7+	-	-	-	-	-	-
Control, water	++	+	+	+	++	++++

Pre-treatment of seed material with humates leads to less damage to the seed material. Using the example of pepper, watercress, radish and eggplant, we can conclude that contact with a solution of humates of any concentration and from any manufacturer leads to inhibition of the development of phytopathogenic fungi on seed material. Using the example of tomato and chickpea seeds, it can be seen that the concentration

of the humate solution used for preliminary treatment matters. The content of humates produced by Shubar-kol Komir in the solution should not be less than 0.05%, otherwise the effectiveness of the antifungal effect is significantly reduced.

Conclusion

Despite the differences in the reaction of the seed material of cultivated plants, it can be concluded that pre-treatment with humates produced by Shubarkol Komir leads to an increase in the growth characteristics of the seed material compared to control indicators, and also has pronounced antifungal activity. In addition, the described experimental data demonstrate that the studied humates have an effectiveness comparable to, and in some cases greater than, the effectiveness of widely used commercial preparations of humic substances.

Acknowledgements

The research was conducted according with internal grant of Karaganda Buketov University “Integrated development of experimental models of hydroponic systems of different types, for the purpose of growing crops and innovative landscaping of the internal public space of the university campus”.

References

- 1 Чистяков А.В. Новое поколение гуматов [Электронный ресурс] / А.В. Чистяков. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gumaty-novogo-pokoleniya/viewer>.
- 2 Kumar D. Potassium humate: a potential soil conditioner and plant growth promoter / D. Kumar, A.P. Singh, P. Raha, A. Rakshit // Int J Agricul Env & Biotech. — 2013. — Vol. 6(3). — P. 441. <https://doi.org/10.5958/j.2230-732X.6.3.015>
- 3 Okazova Z.P. Potassium humate in the technology of cultivating corn for silage / Z.P. Okazova, M.M. Tokbaev // Agricultural Science. — 2008. — No. 10. — С. 21–23. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224202011>
- 4 Серебряков Ф.А. Полевые и качественные индикаторы зерна сортов озимой пшеницы при использовании биологического продукта «Flor Humate» / Ф.А. Серебряков, В.Н. Чурсин // Новости Нижневолж. агроун-го комплекса. — 2007. — № 2 (6). — С. 30–35.
- 5 Пырсигов Д.А. Гумат калия «Bioresource»: моногр. / Д.А. Пырсигов, В.А. Малеев, Н.В. Глаз. — Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2022. — 97 с.
- 6 Zharkova S.V. Study of the effect of nanosilicon and fertilizer “Gumat” on the growth, development and productivity of soybean variety “Altom” / S.V. Zharkova, O.V. Manylova // International Journal of Humanities and Natural Sciences. — 2020. — No 1 (40). — P. 138–141.
- 7 Зорина М.С. Определение семенной продуктивности и качества семян интродуцентов / М.С. Зорина, С.П. Кабанов // Методики интродукционных исследований в Казахстане. — Алма-Ата: Наука, 1986. — С. 75–85.
- 8 Мальцева М.В. Пособие по определению посевных качеств семян лекарственных растений / М.В. Мальцева. — М.: Наука, 1950. — 56 с.
- 9 Пособие по семенной продуктивности интродуцентов. — М.: Наука, 1980. — 64 с.

М.К. Смагулов, А.Т. Серікбай, А.Ж. Алимжанова, Д.В. Агеев, А.Ш. Додонова

«Шұбаркөл көмір» АҚ өндіретін гуматтардың әртүрлі көкөніс дақылдарының тұқымдық материалының өнуіне әсері

Гуминдік заттардың биологиялық белсенділігі өсімдіктердің қолайсыз факторларға төзімділігін арттырудан және олардың метаболикалық процестерін ынталандырудан көрінеді, бұл тұқымдық материалдың да, бүкіл өсімдіктің вегетативті бөлігінің де өсу сипаттамаларына оң әсер етеді. Мақалада «Шұбаркөл көмір» АҚ өндірген гуматтарды егіс алдындағы сіңіру кезінде әртүрлі дақылды өсімдіктердің тұқым материалының өнгіштігіне әсері қарастырылып, олардың саңырауқұлаққа қарсы белсенділігі бағаланды. Салыстырмалы препараттар ретінде коммерциялық гуматтар «Идеал», «Гумат 7+» және «Биомастер» гуматтары қолданылды. Тәжірибелерде қызанақ, «Сибирское яблоко» сорты; баклажан; «Икорный Рай» сорты; болгар бұрышы, «Д'Артаньян» сорты; екпе-шиырмақ, мол жапырақты сорт; шалғам, «5+» сорты; -ноқат сияқты дақылдар мен сорттардың тұқымдық материалы пайдаланылды. Қызанақ пен болгар бұрышы үшін тұқымдық материалды сіңіруге арналған ерітіндідегі гуматтың ең жақсы мөлшері 0,5%, ал баклажан, екпе-шиыршық, шалғам және ноқат үшін — 0,1% болды. «Шұбаркөл көмір» АҚ гуматының тиімділігі мен сақырауқұлаққа қарсы белсенділігі эталондық препараттар ретінде қолданылатын коммерциялық препараттардан кем түспейді.

Кілт сөздер: гуматтар, тұқым материалы, алдын ала өңдеу, өну, өну энергиясы, саңырауқұлаққа қарсы белсенділік.

М.К. Смагулов, А.Т. Серикбай, А.Ж. Алимжанова, Д.В. Агеев, А.Ш. Додонова

Влияние гуматов производства АО «Шубарколь комир» на всхожесть семенного материала различных овощных культур

Биологическая активность гуминовых веществ проявляется в повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам и стимуляции их обменных процессов, что положительно сказывается на ростовых характеристиках как семенного материала, так и вегетативной части целого растения. В статье рассмотрено влияние гуматов производства АО «Шубарколь комир» при предпосевном замачивании на всхожесть семенного материала различных культурных растений, проведена оценка их противогрибковой активности. В качестве препаратов сравнения использовали коммерческие гуматы «Идеал», «Гумат 7+», «Биомастер». В экспериментах использовали семенной материал следующих культур и сортов: томат, сорт «Сибирское Яблоко»; баклажан, сорт «Икорный Рай»; перец болгарский, сорт «Д'Артаньян»; кресс-салат, сорт «Обильнолистный»; редис, сорт «5+»; нут. Для томата и перца болгарского лучшим содержанием гуматов в растворе для замачивания семенного материала оказалось 0,5 м %, для баклажана, кресс-салата, редиса и нута — 0,1 %. Эффективность и противогрибковая активность гумата АО «Шубарколь комир» не уступает коммерческим препаратам, использованным в качестве препаратов сравнения.

Ключевые слова: гуматы, семенной материал, предварительная обработка, всхожесть, энергия прорастания, противогрибковая активность.

References

- 1 Chistiakov A.V. *Novoe pokolenie gumatov*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/gumaty-novogo-pokoleniya/viewer> [in Russian].
- 2 Kumar, D., Singh, A.P., Raha, P., & Rakshit, A. (2013). Potassium humate: a potential soil conditioner and plant growth promoter. *Int J Agricul Env & Biotech.*, 6(3); 441. <https://doi.org/10.5958/j.2230-732X.6.3.015>
- 3 Okazova, Z.P. & Tokbaev M.M. (2008). Potassium humate in the technology of cultivating corn for silage. *Agricultural Science*, 10; 21–23. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224202011>
- 4 Serebriakov, F.A., & Chursin, V.N. (2007). Polevye i kachestvennye indikatory zerna sortov ozimoi pshenitsy pri ispolzovanii biologicheskogo produkta «Flor Humate» [Field and quality indicators of grain of winter wheat varieties when using biological product “Flor Humate”]. *Novosti Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa — News of Nizhny Novgorod agro-university complex*, 2 (6), 30–35 [in Russian].
- 5 Pyrsikov, D.A., Maleev, V.A., & Glaz, N.V. (2022). *Gumat kaliia «Bioresource»: monografiia [Potassium humate “Biore-source”]. Monograph*. Cheliabinsk: Cheliabinskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].
- 6 Zharkova, S.V., & Manylova, O.V. (2020). Study of the effect of nanosilicon and fertilizer “Gumat” on the growth, development and productivity of soybean variety “Altom”. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 1 (40); 138–141.
- 7 Zorina, M.S. & Kabanov, S.P. (1986). Opredelenie semennoi produktivnosti i kachestva semian introdutsentov [Determination of seed productivity and quality of seeds of introducers]. *Metodiki introduktsionnykh issledovaniy v Kazakhstane — Methods of introduction studies in Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka; 75–85 [in Russian].
- 8 Maltseva, M.V. (1950). *Posobie po opredeleniiu posevnykh kachestv semian lekarstvennykh rastenii [Manual for determination of sowing qualities of seeds of medicinal plants]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 9 (1980). *Posobie po semennoi produktivnosti introdutsentov [Manual on seed productivity of introducers]*. Moscow: Nauka [in Russian].

Information about authors

Smagulov, Marlen Kemelbekovich — Candidate of biological sciences, Senior Researcher, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; marlenkemel@mail.ru;

Serikbay, Arailym Talgatkyzy — Master-student, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; Arailym_serikbai@mail.ru;

Alimzhanova, Aidana Zhandosovna — PhD-student, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; Alimzhanovaaidana3@gmail.com;

Ageev, Dmitriy Viktorovich — Master in biology, Junior Researcher of Research Park of Biotechnology and Eco-monitoring, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; ageevdimon88@mail.ru;

Dodonova, Alexandra Shavkhatovna — Candidate of biological sciences, Associate Professor of Botany Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; sasha_dodonova1@mail.ru.

R.T. Mussina¹, M.M. Silantjeva², M.Yu. Ishmuratova^{1*}, E.A. Gavrilkova¹,
S.U. Tleukenova¹, A.T. Nurkenova¹

¹Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan;

²Altai State University, Barnaul, Russian Federation

*Corresponding author: margarita.ishmur@mail.ru

Family *Caryophyllaceae* in the flora of Central Kazakhstan: species composition, spreading, practical use

This article analyzes the species composition of the family *Caryophyllaceae* of the flora of Central Kazakhstan within the Karaganda and Ulytau regions, the distribution of identified taxa, ecobiomorphological features and phytoprotective status. It was revealed that the family *Caryophyllaceae* includes 80 species from 18 genera, which is 44.4% of the species flora of this family of Kazakhstan and 7.2% of the total number of species of the flora of Central Kazakhstan. The leading genera by number of species are *Silene* L. (28 species) and *Dianthus* L. (11 species). Endemic species are 2 taxa. Phytoprotective status has 1 species, which is included in rare and endangered plants of Karaganda region. In relation to moisture conditions, mesophytes (12 species) prevail among the described taxa, xeromesophytes (19 species) are in the second place, and mesoxerophytes (16 species) are in the third position. Analysis of life forms showed predominance of herbaceous perennial (60 species) and annual (16 species) forms. Among the species of the family *Caryophyllaceae*, the following economically valuable groups were noted: weedy, medicinal, poisonous, and suitable for perfumery and cosmetic purposes, ornamental, technical, fodder and honey-bearing groups.

Keywords: family *Caryophyllaceae*, flora, Central Kazakhstan, species composition, ecological groups, life forms, useful properties, phytoprotective status.

Introduction

The flora of Kazakhstan is represented by a unique species composition, which is determined by the diversity of landscapes and soil and climatic conditions. The flora of the regions is characterized by various ecological groups of plants, including every-biont and stenobiont species. According to the last data, the flora of Kazakhstan includes about 6040 species from 1118 genera, including 709 endemics and 387 species listed in the Red Book of Kazakhstan [1, 2].

The territory of Central Kazakhstan is poorly studied in terms of determining the species composition, ecobiomorphological features and economic properties of plants. When analyzing the flora of the region, it is necessary to take into account large families, one of which is *Caryophyllaceae*. This family is included in the list of the largest taxa of Kazakhstan, includes 282 species from 42 genera; among them 20 endemic species and 11 species listed in the Red Book of Kazakhstan [3, 4]. The family is cosmopolitan, but the dominant species composition grows in Central and East Asia [1].

Representatives of the family *Caryophyllaceae* participate in the formation of phytocenoses of steppe, meadow and forest zones. They are promising medicinal, ornamental, fodder crops, and also have technical and honey-bearing value. Plants are rich in biological active compounds, which have adaptogenic, tonic, antimicrobial, and antiviral properties [5–8].

Weak study of this family is connected with high variability of species; so, in particular, plants from genera are difficult to identify *Silene*, *Oberna*, *Elisanthe*, *Melandrium*, etc.

Within the framework of preparing a complete outline of the flora of Karaganda region, we analyze large families to understand their species richness, structural features, useful properties and to identify species in need of protection.

The aim of this study is to determine the current species composition of species of the family *Caryophyllaceae* and to rank them by biomorphs, ecological groups and to identify economically valuable plants.

Experimental

The species composition was analyzed on the basis of literature data [1, 2, 9–13], analysis of the herbarium fund of the Biology and Geography Department of Karaganda University named after academician E.A. Buketov (QAR), the State National Natural Park “Buiratau”, Astana (NUR) and Zhezkazgan Botanical Gar-

den, data from the Nature Museum of the Institute of Ecology of Plants and Animals, data presented on the GBIF platform, as well as the results of our own field collections.

Species names are given according to taxonomic GBIF categories (<https://www.gbif.org/>).

Ecological groups were identified on the basis of the relationship of plants to moisture conditions [14], life forms — according to the publication of I.G. Serebryakov [15], economic groups — according to reference books [5–8, 16–18].

The allocation and justification of the status of rare endangered species of the region was carried out on the basis of the own materials and works of M.S. Baitenov [3, 4], the list of rare and endangered plants of Karaganda region [19].

Results and Discussions

The territory of the Central Kazakhstan (Karaganda region) is located within the continental West Siberian steppe zone and occupies a middle position in the republic. The following floristic districts are located on the territory of the Central Kazakhstan.

Taxonomic analysis

Present days, the family *Caryophyllaceae* of the flora of Central Kazakhstan is represented by 80 species belonging to 18 genera (Table 1), which is 44.4% of the total number of species composition of this family of Kazakhstan flora and 6.45% of the total number of species of the flora of Central Kazakhstan.

Table 1

Taxonomic composition of species of family *Caryophyllaceae*

№	Genus	Total number of species in Central Kazakhstan, pcs.	Total number of species in Kazakhstan, pcs.	% of total species in Kazakhstan
1	<i>Herniaria</i> L.	2	4	50
2	<i>Spergula</i> L.	1	1	100
3	<i>Spergularia</i> (Pers.) J. & C. Presl.	5	5	100
4	<i>Holosteum</i> L.	2	2	100
5	<i>Sagina</i> L.	1	3	33,3
6	<i>Cerastium</i> L.	4	12	33,3
7	<i>Lepyrodiclis</i> Fenzl	1	2	50
8	<i>Stellaria</i> L.	6	19	31,6
9	<i>Sabulina</i> L.	3	7	42,8
10	<i>Moehringia</i> L.	1	3	33,3
11	<i>Arenaria</i> L.	4	12	33,3
12	<i>Acanthophyllum</i> C. A. Mey.	1	6	16,7
13	<i>Petrorhagia</i> (Ser. ex DC.) Link	1	1	100
14	<i>Gypsophila</i> L.	7	21	33,3
15	<i>Agrostemma</i> L.	1	1	100
16	<i>Dianthus</i> L.	11	24	45,8
17	<i>Saponaria</i> L.	1	1	100
18	<i>Silene</i> L.	28	56	50

The leading positions on species diversity are occupied by 2 genera: *Silene* L. and *Dianthus* L. Thus, genus *Silene* L. includes the following species: *S. sibirica* var. *holopetala* (Bunge) Lazkov, *S. sibirica* (L.) Pers., *S. anisoloba* Schrenk, *S. lithophila* Kar. & Kir., *S. praemixta* M. Pop., *S. chlorantha* (Willd.) Ehrh., *S. multiflora* (Ehrh.) Pers., *S. balchaschensis* Schischk., *S. gavrilovii* (Krasn.) M. Pop., *S. graminifolia* Otth, *S. karkaralensis* A. Dm. et M. Pop., *S. adenopetala* Raik., *S. incurvifolia* Kar. & Kir., *S. dichotoma* Ehrh., *S. betpakdalensis* Bajt., *S. suffrutescens* M. Bieb., *S. altaica* Pers., *S. alexandrae* B. Keller, *S. brahuica* Boiss., *S. nutans* L., and *S. repens* Patr. Taxonomic composition of representatives of the family *Caryophyllaceae*, growing on the territory of Central Kazakhstan is presented in Figure 1.

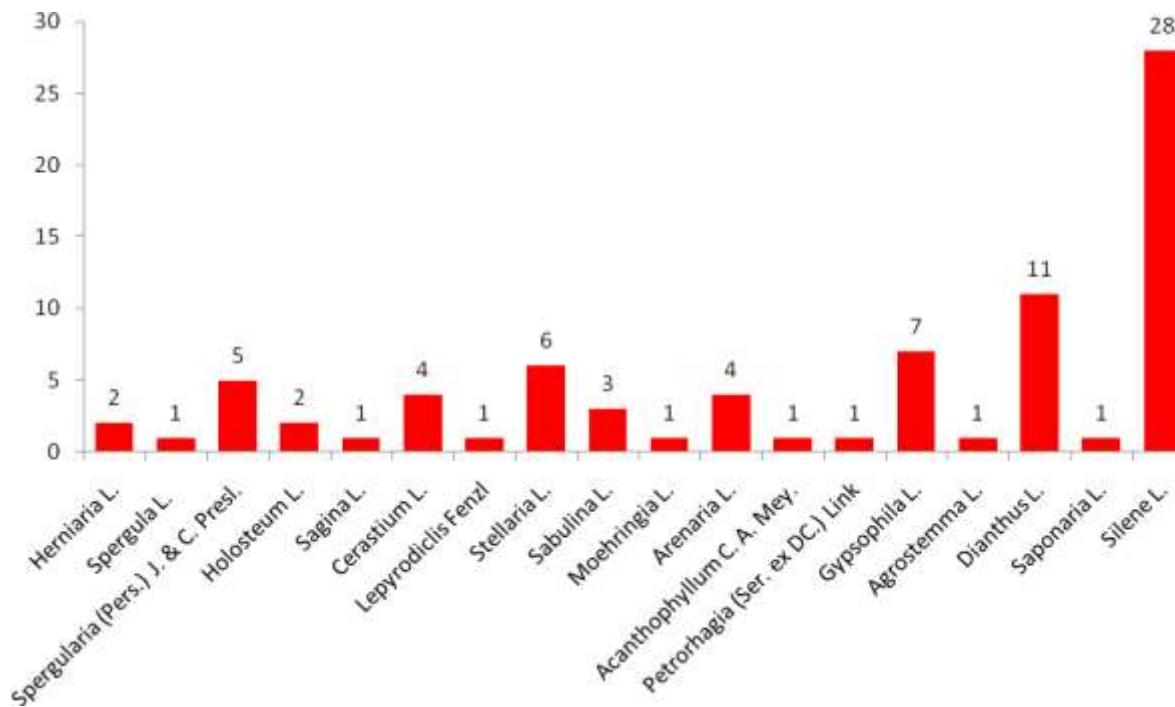


Figure 1. Numerical distribution of species in genera of the family *Caryophyllaceae* of the flora of Central Kazakhstan

According to the number of species, *Caryophyllaceae* are among the 10 leading families of the flora of Central Kazakhstan [17], occupying the 6th position (Table 2). Representatives of this family occupy 7.24% of the total number of species and 5.66% of the total number of genera.

Table 2

The list of the leading families by species composition of Central Kazakhstan flora

№	Family	Number of genera, pcs.	% of total number of genera	Number of species, pcs.	% of total number of species
1	<i>Asteraceae</i>	50	10,3	187	14,9
2	<i>Fabaceae</i>	22	4,6	113	9,0
3	<i>Brassicaceae</i>	44	9,1	82	6,5
4	<i>Poaceae</i>	30	6,2	81	6,5
5	<i>Chenopodiaceae</i>	24	4,9	74	5,9
6	<i>Caryophyllaceae</i>	15	3,1	57	4,5
7	<i>Lamiaceae</i>	20	4,1	50	4,0
8	<i>Boraginaceae</i>	20	4,1	49	3,9
9	<i>Apiaceae</i>	30	6,2	47	3,7
10	<i>Scrophulariaceae</i>	10	2,1	47	3,7

Among 80 species 2 endemics (*Silene holopetala* Bunge and *Silene anisoloba* Schrenk) were recorded, which is 2.5 % of the total species composition. One species (*Agrostemma chalconica*) is classified as a rare and endangered species of Karaganda region [19].

Ecological analysis

The comparative analysis of the presented species showed that the majority of species belong to the group of mesophytes — 22 taxa (27.5%), xeromesophytes — 19 taxa (23.8%), mesoxerophytes — 16 taxa (20%), xerophytes — 9 taxa (11.3%), hygrophytes — 7 taxa (8.7%) (Fig. 2).

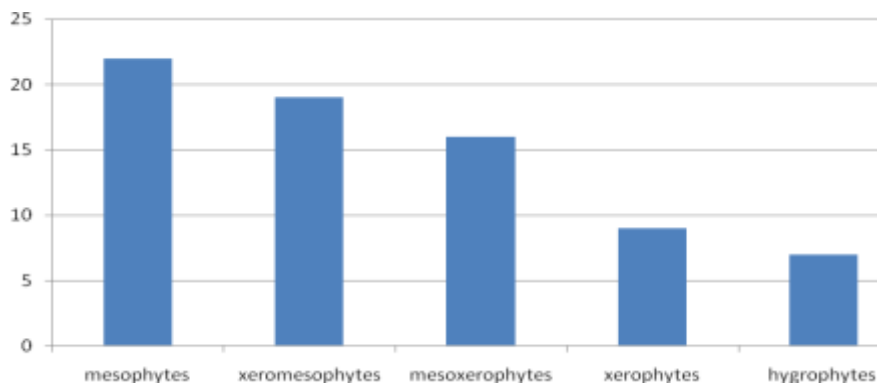


Figure 1. Ranking of representatives of the family *Caryophyllaceae*, growing on the territory of Central Kazakhstan, depending on moisture conditions

Ecobiomorphological analysis

By life form, perennial herbaceous plants predominate with 60 species (75%), annual herbs are on the 2nd position with 16 species (20%), and biennial herbs with 4 species (5%) are on the 3rd position (Fig. 2).

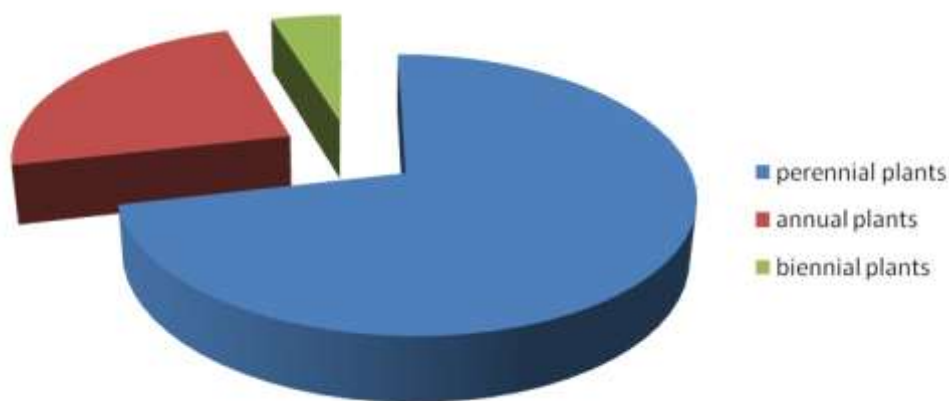


Figure 2. Life form of representatives of family *Caryophyllaceae* of central Kazakhstan flora

Ranking of representatives of the family by economic importance was carried out; and it was found that most species of *Caryophyllaceae* have weed value, a smaller number of species are poisonous and soap, medicinal, ornamental, technical, fodder and honey-bearing species are found (Fig. 3).

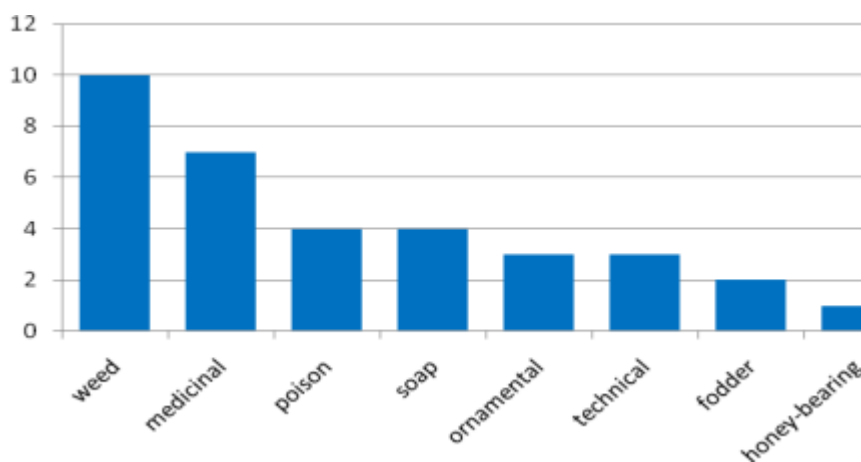


Figure 3. Practical-useful groups of species of family *Caryophyllaceae* of Central Kazakhstan flora

Thus, species of the genus *Arenaria*, *Cerastium*, *Dianthus*, *Gypsophila*, *Lychnis chalconica*, *Saponaria officinalis*, *Stellaria*, *Vaccaria hispanica* have ornamental value. The following species are used in folk and traditional medicine: *Cerastium arvense* L., *Dianthus versicolor* Fisch. ex Link, *Gypsophila paniculata* L., *Lychnis chalconica* L., *Saponaria officinalis* L., *Stellaria graminea* L., *Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert.

Conclusion

Thus, on the basis of field studies, collection of information on scientific publications and analysis of the herbarium fund, it was found that 80 species of 18 genera of representatives of the family *Caryophyllaceae* grow on the territory of Central Kazakhstan. Ranking by ecological groups and life forms was carried out. Depending on moistening conditions mesophytic species prevail, perennial herbaceous plants dominate by life form. Species with weed, poisonous, medicinal, ornamental, technical, soap, fodder, honey-bearing value were identified.

Acknowledgements

This study was carried out within the framework of funding by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR18574125 “Study of the current state of species diversity of vascular plants of Kazakhstan using modern methods of botany, molecular genetics and bioinformatics”, 2023–2024).

References

- 1 Байтенов М.С. Флора Казахстана. — Т. 2. Родовой комплекс флоры / М.С. Байтенов. — Алматы: Гылым, 2001. — 280 с.
- 2 Флора Казахстана. — Т. 1–9. — Алма-Ата: Наука, 1956–1966.
- 3 Красная книга Казахстана. — Т. 2: Растения. — Астана: АО «Арт Print XXI», 2014. — 452 с.
- 4 Байтенов М.С. В мире редких растений / М.С. Байтенов. — Алма-Ата: Наука, 1985. — 176 с.
- 5 Chandra S. Medicinal properties of the family *Caryophyllaceae*: a review of ethnomedicinal uses and pharmacological properties / S. Chandra, D.S. Rawat // *Integ Med Res*. — 2015. — Vol. 6(3). — P. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.mr.2015.06.004>
- 6 Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; семейства *Hippuridaceae* – *Lobeliaceae*. — СПб.: Наука, 1991. — 200 с.
- 7 Белкин Д.Л. Семейство *Caryophyllaceae* Juss. Алтайской горной страны: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д.Л. Белкин. — Барнаул, 2010. — 22 с.
- 8 Растительные ресурсы России. Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. — Т. 1–5. — СПб.; М.: Изд-во КМК, 2008–2012.
- 9 Куприянов А.Н. Определитель сосудистых растений Каркаралинского национального парка / А.Н. Куприянов, И.А. Хрусталева, Ю.А. Манаков, С.М. Адекенов. — Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2009. — 276 с.
- 10 Куприянов А.Н. О новом виде рода *Gypsophila* (*Caryophyllaceae*) из Центрального Казахстана / А.Н. Куприянов // *Бот. журн.* — 1989. — Т. 74, № 12. — С. 1785–1786.
- 11 Куприянов А.Н. Конспект флоры Казахского мелкосопочника / А.Н. Куприянов. — Новосибирск: Гео, 2020. — 423 с.
- 12 Куприянов А.Н. Флора Большого Улытау / А.Н. Куприянов, И.А. Хрусталева, С.М. Адекенов, Е.М. Габдуллин. — Новосибирск: Гео, 2017. — 184 с.
- 13 Ишмуратова М.Ю. Флора гор Улуту (Центральный Казахстан) / М.Ю. Ишмуратова, Г.Ж. Мырзалы, В.И. Ивлев, А.Н. Матвеев. — Караганда: Болашак–Баспа, 2016. — 127 с.
- 14 Радкевич В.А. Экология / В.А. Радкевич. — Минск: Выш. шк., 1998. — 159 с.
- 15 Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение / И.Г. Серебряков // *Полевая геоботаника*. — М.; Л.: Наука, 1964. — Т. 3. — С. 146–205.
- 16 Грудзинская Л.М. Аннотированный список лекарственных растений Казахстана: Справоч. изд. / Л.М. Грудзинская, Н.Г. Гемеджиева, Н.В. Нелина, Ж.Ж. Каржаубекова. — Алматы, 2014. — 200 с.
- 17 Ишмуратова М.Ю. Лекарственные растения народной медицины: учеб.-метод. пос. / М.Ю. Ишмуратова. — Караганда: Болашак–Баспа, 2014. — 137 с.
- 18 Joy P.P. Medicinal Plants / P.P. Joy, J. Thomas, S. Mathew, V.P. Skaria. — Kerala: Kerala Agricultural University, 1998. — 221 p.
- 19 Куприянов А.Н. Охраняемые растения Карагандинской области / А.Н. Куприянов. — Караганда, 1993. — 37 с.

Р.Т. Мусина, М.М. Силантьева, М.Ю. Ишмуратова, Е.А. Гаврилькова,
С.У. Тлеукенова, А.Т. Нуркенова

Орталық Қазақстанның *Caryophyllaceae* тұқымдасының өкілдері: түрлік құрамы, таралуы және пайдалану мүмкіндіктері

Мақалада Қарағанды және Ұлытау облыстары шегінде Орталық Қазақстан флорасының *Caryophyllaceae* тұқымдасының түрлік құрамы, анықталған таксондардың таралуы, экобиоморфологиялық ерекшеліктері және фитокорғау мәртебесі талданған. *Caryophyllaceae* тұқымдасына 18 тұқымдастың 80 түрі кіретіні анықталды, бұл Қазақстандағы осы тұқымдастардың түрлері флорасының 44,4%-ын және Орталық Қазақстан флорасының жалпы түрлерінің 3,2%-ын құрайды. Түрлердің саны бойынша жетекші тұқымдастар — *Silene* L. (28 түр) және *Dianthus* L. (11 түр). Эндемикалық түрлер — 2 таксон. Қарағанды облысының сирек кездесетін және жойылып бара жатқан өсімдіктеріне енгізілген 1 түр фитокорғау мәртебесіне ие. Сипатталған таксондар арасында ортаның ылғалдану жағдайларына қатысты бірінші орында — мезофиттер (12 түр), екінші орында — ксеромезофиттер (19 түр), үшінші орында — мезоксерофиттер (16 түр) басым. *Caryophyllaceae* тұқымдасы түрлерінің ішінде мына экономикалық құнды топтар атап өтілді: арамшөптер, дәрілік, улы, парфюмерлік-косметикалық мақсаттарға жарамды, сәндік, техникалық, мал азықтық және балды.

Кілт сөздер: *Caryophyllaceae* тұқымдасы, флора, Орталық Қазақстан, түр құрамы, экологиялық топтар, тіршілік формалары, пайдалы қасиеттері, фитокорғау мәртебесі.

Р.Т. Мусина, М.М. Силантьева, М.Ю. Ишмуратова, Е.А. Гаврилькова,
С.У. Тлеукенова, А.Т. Нуркенова

Представители семейства *Caryophyllaceae* Центрального Казахстана: видовой состав, распространение и возможности использования

В статье проанализирован видовой состав семейства *Caryophyllaceae* флоры Центрального Казахстана в пределах Карагандинской и Улытауской областей, распространение выявленных таксонов, экобиоморфологические особенности и фитохозяйственный статус. Определено, что в состав семейства *Caryophyllaceae* входит 80 видов из 18 родов, что составляет 44,4 % от флоры видов данного семейства Казахстана и 7,2 % от общего числа видов флоры Центрального Казахстана. Ведущими родами по численности видов являются *Silene* L. (28) и *Dianthus* L. (11 видов). Эндемичными видами являются 2 таксона. Фитохозяйственный статус имеет 1 вид, который включен в редкие и исчезающие растения Карагандинской области. По отношению к условиям увлажнения среди описанных таксонов преобладают мезофиты (12 видов), на втором месте — ксеромезофиты (19), на третьей позиции — мезоксерофиты (16 видов). Анализ жизненных форм показал преобладание травянистых многолетних (60) и однолетних (16 видов) форм. Среди видов семейства *Caryophyllaceae* отмечены следующие хозяйственно-ценные группы: сорные, лекарственные, ядовитые, пригодные для парфюмерно-косметических целей, декоративные, технические, кормовые и медоносные.

Ключевые слова: семейство *Caryophyllaceae*, флора, Центральный Казахстан, видовой состав, экологические группы, жизненные формы, полезные свойства, фитохозяйственный статус.

References

- 1 Baitenov, M.S. (2001). *Flora Kazakhstana. T. 2. Rodovoi kompleks flory [Flora of Kazakhstan. Vol. 2. Flora genus complex]*. Alma-Ata: Gylym [in Russian].
- 2 (1956–1966). *Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Nauka, 1–9 [in Russian].
- 3 (2014). *Krasnaia kniga Kazakhstana. T. 2: Rastenii [Red Book of Kazakhstan. Vol. 2: Plants]*. Astana: JSC «Art Print XXI» [in Russian].
- 4 Baitenov, M.S. (1985). *V mire redkikh rastenii [In world of rare plants]*. Alma-Ata: Nauka [in Russian].
- 5 Chandra, S. & Rawat, D.S. (2015). Medicinal properties of the family *Caryophyllaceae*: a review of ethnomedicinal uses and pharmacological properties. *Integ Med Res.*, 6(3); 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.mr.2015.06.004>
- 6 (1991). *Rastitelnye resursy SSSR: Tsvetkovye rasteniia, ikh khimicheskii sostav, ispolzovanie; semeistva Hippuridaceae — Lobeliaceae [Plant resources of USSR: Flowering plants, their chemical composition, using; families Hippuridaceae — Lobeliaceae]*. Saint-Petersburg: Nauka [in Russian].
- 7 Belkin, D.L. (2010). *Semeistvo Caryophyllaceae Juss. Altaiskoi gornoi strany [Family Caryophyllaceae Juss. of Altai Mountain Country]*. *Extended abstract of candidate's thesis*. Barnaul [in Russian].

- 8 (2008–2012). *Rastitelnye resursy Rossii. Dikorastushchie tsvetkovye rasteniia, ikh komponentnyi sostav i biologicheskaiia aktivnost* [Plant resources of Russia. Wild flower plants, their component composition and biological activity]. Moscow: Izdatelstvo KMK [in Russian].
- 9 Kuprijanov, A.N., Khustalyeva, I.A., Manakov, Yu.A., & Adekenov, S.M. (2009). *Opredelitel sosudistykh rastenii Karkaralinskogo natsionalnogo parka* [Determinant of vascular plants of Karkaraly National Park]. Kemerovo: Irbis [in Russian].
- 10 Kuprijanov, A.N. (1989). O novom vide roda *Gypsophila* (Caryophyllaceae) iz Tsentralnogo Kazakhstana [A new species of the genus *Gypsophila* (Caryophyllaceae) from Central Kazakhstan]. *Botanicheskii zhurnal — Botanical Journal*, 74(12): 1785–1786 [in Russian].
- 11 Kuprijanov, A.N. (2020). *Konspekt flory Kazakhskogo melkosopchnika* [Conspectus of flora of Kazakh Upland]. Novosibirsk: Geo[in Russian].
- 12 Kuprijanov, A.N., Khrustaleva, I.A., Adekenov, S.M., & Gabdullin, E.M. (2017). *Flora Bolshogo Ulytau* [Flora of Great Ulytau]. Novosibirsk: Geo [in Russian].
- 13 Ishmuratova, M.Yu., Myrzaly, G.Zh., Ivlev, V.I., & Matveev, A.N. (2016). *Flora gor Ulutau (Tsentralnyi Kazakhstan)* [Flora of Ulutau Mountains (Central Kazakhstan)]. Karaganda: Bolashaq–Baspa [in Russian].
- 14 Radkevich, V.A. (1998). *Ekologiia* [Ecology]. Minsk: Vysheishaia shkola [in Russian].
- 15 Serebryakov, I.G. (1964). Zhiznennye formy vysshikh rastenii i ikh izuchenie [Life forms of plants and their study]. *Polevaia geobotanika — Field Geobotany*, 3. Moscow–Leningrad: Nauka, 146–205 [in Russian].
- 16 Grudzinskaya, L.M., Gemedzhieva, N.G., Nelina, N.V., & Karzhaubekova, Zh.Zh. (2014). *Annotirovannyi spisok lekarstvennykh rastenii Kazakhstana: Spravochnoe izdanie* [Annotated list of medicinal plants in Kazakhstan: Reference edition]. Almaty [in Russian].
- 17 Ishmuratova, M.Yu. (2014). *Lekarstvennye rasteniia narodnoi medistiny. Uchebno-metodicheskoe posobie* [The herbs of folk medicine. Handbook]. Karaganda: Bolashaq–Baspa [in Russian].
- 18 Joy, P.P., Thomas, J., Mathew, S., & Skaria, B.P. (1998). *Medicinal Plants*. Kerala: Kerala Agricultural University.
- 19 Kuprijanov, A.N. (1993). *Okhraniemye rasteniia Karagandinskoi oblasti* [Protected plants of Karaganda region]. Karaganda [in Russian].

Information about authors

Mussina, Roza Tletaevna — PhD-student, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; rosanna_1983@mail.ru;

Silantjeva, Marina Mikhailovna — Doctor of biological sciences, Professor, Dean of Biological Faculty of Altai State University, Barnaul, Russian Federation; msilan@mail.ru;

Ishmuratova, Margarita Yulaevna — Candidate of biological sciences, Professor-researcher of Botany Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; margarita.ishmur@mail.ru;

Gavrilkova, Elena Anatol'evna — Master of biology, Senior Lecturer of Botany Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; elena_2809@mail.ru;

Tleukenova, Saltanat Ushkempirovna — Candidate of biological sciences, Head of Botany Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; damir--6@mail.ru;

Nurkenova, Ainur Tuleutaevna — Candidate of biological sciences, Assistant of the professor of Botany Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; nurkenovaaainur@mail.ru.

D. Tussipkan¹, M.B. Ramazanova¹, Sh.A. Manabayeva^{1,2*}

¹National Center for Biotechnology, Astana, Kazakhstan;

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

*Corresponding author: manabayeva@biocenter.kz

Soil salinity and salt tolerance of plants

Global scarcity of water resources, ecological pollution and enlarged salinization of soil and water became a noticeable problem at the beginning of the 21st century. Soil pollution caused by industrial and agricultural activities is an environmental problem that poses serious threats to human health and ecosystems. This review provides, firstly soil salinity characteristics and salinity indicators. Secondly, we focused on saline areas in the world and causes of soil salinization. Thirdly, mapping and monitoring of soil salinity areas and improvement measures for saline soil tolerance. Fourthly, effect of salinity stress on plant and plant salinity response was discussed. This review is intended to provide a comprehensive overview on salinization of soil and presenting fundamental information for future research studies.

Keywords: plants, abiotic factors, stress, soil salinity, salt tolerance, salinization, pollution, ion regulation.

Soil salinity characteristics and salinity indicator

Soil is a vital resource for feeding the growing global population. Excess soil salinity poses a significant threat to agricultural production and environmental health [1]. Soil salinity refers to the amount of dissolved minerals and salts in water. NaCl is considered the predominant salt which is the main cause of soil salinity [2], because, during irrigation with water that mainly has calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), and sodium (Na^+), so when the water evaporates, Ca^{2+} and Mg^{2+} directly precipitate into carbonates, leaving Na^+ as a dominant anion in the soil that inhibits nutrition activities and creates extreme ratios of $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ or Na^+/K^+ in soil [3, 4].

Some of the traditional method employed to check salinity levels includes [5] electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), and sodium adsorption ratio (SAR) [6, 7]. However, these measurements are based on visual observation which only provides qualitative information about crops. Electric conductivity (EC) is among the most important laboratory methods that are used for the classification of soil salinity [8]. Based on US Salinity Staff Laboratory reports, the distinguished characteristic of saline soils has $\text{EC} > 4 \text{ dS/mat } 25^\circ\text{C}$, $\text{ESP} < 15$, and pH of the soil reaction < 8.5 [9, 10] (Table 1). Conventional methods of in situ soil sample collection and analysis for soil salinity are labor-intensive, time-consuming, and costly [11, 12]. Remote sensing data and techniques that detect soil salinity more efficiently and economically with the use of rapid tools and techniques allow the mapping of soil salinity. The electric conductivity analysis of saturated soil paste or in aqueous extracts with different soil/water ratios, and spectrometric analysis are employed for characterization of soil salinity [13].

Table 1

EC values for soil salinity classes

Soil salinity class	Conductivity of the Saturation extraction (dS/m)	Effect on crop plant
Non saline	2–4	Salinity effects negligible
Slightly saline	4–8	Yields of sensitive crops may be restricted
Moderate saline	8–12	Only tolerant crops yield satisfactorily
Strong saline	12–16	Only a few very tolerant crops yield satisfactorily
Very Strong saline	>16	

Saline areas in the world

Global scarcity of water resources, ecological pollution and enlarged salinization of soil and water became a noticeable problem at the beginning of the 21st century. But numerous environmental stresses, like high temperatures, excessive winds, flood, drought, and soil salinity have predominately disturbed the yield and cultivation of important agricultural crops [14]. Amongst these, salinity is not only the major environmental factor that limits plant growth and productivity but also become a worldwide enigma [15].

It is estimated that there are about 5.0 billion hectares of total agricultural land area in the world, this accounted for 37 percent of the total land on earth, and nearly 1.5 billion hectares of this total agricultural area (11% of total land) is now arable land used for stable farming of the crops. Munns and Tester (2008) reported that 800 million hectares of land are affected by the salinity problem [16]. Whereas Wang et al. (2011) reported that this figure will reach up to 950 million hectares in 2011 [17]. Based on the latest report about one billion hectares of land, accounting for 10% of the world's arable land and can exceed up to 50% of the world's arable land in the year 2015. These reports clearly indicate that the saline areas are increasing rapidly. This problem is widely distributed in over 100 countries in the world [18] and is worsening in countries like America, China, Hungary, and Australia, and it will become more severe in North Africa, East Africa, the Middle East, East Asia, and South Asia. There are about 320 million hectares of saline affected land in the Asian continent, accounting for about 1/3 of the world. China has more population with less land, moreover, saline land distribution is very wide [19]. There are 100 million hectares of arable land in China, amongst them 6.66 million hectares were polluted with different degrees of salinization [20].

Causes of soil salinization

The land salinization reason can be divided into two 1) Primary (natural) and 2) Secondary (anthropogenic) [21]. It has many reasons to increase naturally:

1. Various rock such as intermediate igneous rocks; basic igneous rocks and undifferentiated volcanic rocks have affected soil salinity. Because when rock salt is freed from the substrate, the upper soil gets precipitated by capillary action and cause soil salinization [22].
2. Climatic changes like annual rainfall, evaporation, temperature, humidity and pH also influenced soil salinity.
3. Soil pore and other physical structures also effect the migration and accumulation of the salinity in the land soil.
4. Entry of seawater during cyclones in coastal areas.
5. Vegetation coverage.
6. Seasonal and gradient influence of major projects on the occurrence of soil salinization.
7. A significant proportion of the recently cultivated agricultural land has become saline because of the use of poor-quality water for irrigation and improper drainage in a canal-irrigated wetland agro-ecosystems [23, 24]. These serious consequences represent the decreasing of productive agricultural land for farming [25].

Mapping and monitoring of soil salinity areas

The necessity of mapping soil salinity

Population pressure is increasing in the world and about 20% of the world's total cultivated area and nearly 50% of the irrigated croplands are heavily affected by soil salinity [26]. In the near future, more dry lands will be put into agriculture for crop production. Therefore, it is important to monitor and map saline areas, at an early stage to enact an effective soil reclamation program that helps to lessen or prevent the future increase in soil salinity [27, 28].

The technology used for soil salinity mapping

Scientists monitored or map the soil salinity by taking Remote Sensing Data through salt features (white salt crusts) that are visible at the soil surface, and the presence of halophytic plants. These methods are known as soil reflectance indicators and vegetation reflectance indicators [9]. Remote sensing technology helps to get information about objects or areas from a long distance by aircraft or satellites (<http://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html>). It has been used in different research fields such as archeological research [29], ecosystem services [30], medical sciences [31], environmental research [32], abiotic stress studies [33]. Advantages of using remote sensing technology include providing the multispectral images, saving time, wide-coverage, (satellite remote sensing provides the only source when data is re-

quired over large areas or regions), faster than ground methods, and facilitating long-term monitoring [9]. However, in soil salinity studies, only considering soil reflectance may not be enough to measure variation in soil salinity, because, the spatial variability of soil salinity over the landscape is highly sensitive and is controlled by a variety of factors. These factors include:

1. Soil factors (surface roughness, moisture, parent material, permeability, water table depth, groundwater quality, and topography);
2. Management factors (irrigation and drainage);
3. Climatic factors include (rainfall and humidity) [8, 34]. Therefore, it is beneficial to use vegetation reflectance as an indirect indicator for mapping soil salinity, because it can provide a spatial overview of salinity distribution and avoid limitations associated with the direct use of soil reflectance [35].

The use of vegetation reflectance as an indirect indicator

Vegetation reflectance has been used in numerous fields, including ozone [36, 37], soil contamination [38–41], pathogens, senescence, dehydration, natural gas and metal contamination.

Indicator plant species have been generally used together with physical and chemical indicators to determine soil salinity [7], but not all can be good remote sensing indicators of soil salinity [9]. Plant communities were better indicators soil salinity than individual species, the dominant halophytic communities in saline areas. For examples, *Salicornia europaea* community and *Aster tripolium* community were present at salinity over 20 mS/cm, *Triglochin maritima* community over 12 mS/cm, *Puccinellia distans-Salicornia europaea-Spergularia marina* community over 8 mS/cm and *Glaux maritima-Potentilla anserina-Agrostis stolonifera* community over 2 mS/cm [42].

Additionally, the performance of some salt tolerance crops such as alfalfa, barley, and cotton can provide the severity of soil salinity. Alfalfa is an ideal natural resource and model plant for remediation of contaminated soils, offering a variety of elite characteristics, including a highly productive biomass, drought tolerance, a fast-growing and prosperous root system, and availability in large amounts over several months of the year [43]. Cotton is basically cultivated on irrigated land, so it is considered an ideal indirect indicator for soil salinity and has been used as salinity indicators in a variety of studies [9, 44]. For example, Zhang et al (2011) reported that the vegetation cover of Yellow River Delta (YRD) of China, includes some grass species: suaeda (*Suaeda glauca*), Suaeda salsa, aeluropus (*Aeluropus sinensis*), cogon grass (*Imperata cylindrica*), reed (*Phragmites*), and a shrub species: saltcedar (*Tamarix chinensis*), crops planted in the YRD are salt-tolerant varieties, including cotton (*G. hirsutum*) and corn (*Zea mays*). The dominant species in the YRD could represent typical halophytic plants and salt-tolerant crops because they are also common in other saline areas [35].

Improvement measures for saline soil tolerance

To improve saline soils, it was attempted three main measures:

1. Chemical improvement measures. Liu et al. (2015) did experiment to study the effects of newly-developed ameliorant, gypsum and cow in the coastal saline-alkali soil of north Jiangsu Province [45]. The authors measured the plant (*Salicornia europaea* L.) growth and ion concentration in stems and roots. The results of this study presented that the three ameliorants, including cow dung, gypsum, new ameliorant and their combinations developed soil chemical and physical contents and moreover confirmed to improve the total plant height and stem diameter in the following order of manure usage: cow dung > gypsum > new ameliorant.

2. Biological and ecological measures. Microorganisms with the following characteristics like salt tolerant with improved genetic variability, synthesizing compatible solutes, producing plant growth promoting hormones, bio-control potential, can successfully interacts with the crop plants to improve the saline soil quality [14]. In the microbiological investigations of saline soils, great attention has been paid to the halophilic, osmotolerant, and alkalo tolerant microorganisms [46]. For example, Salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria (ST-PGPR) significantly influence the growth and yield of wheat crops in saline soil, it is beneficial bacteria that live in the plant root zone [47]. Plants treated with rhizobacteria have better root and shoot growth, nutrient uptake, hydration, chlorophyll content, tolerance to diseases, higher K⁺ ion concentration and, in turn, a higher K⁺/Na⁺ ratio that favors salt tolerance [48].

3. Introduction of salt tolerance plants. Increased salt tolerance of perennial species used for fodder or fuel production is an important and natural method for controlling the spread of secondary salinity. However, different crop species have different threshold tolerance E_{Ce} and yield reduction rate [24] (Table 2). If salt levels are 0 to 2 dS/m, yield of the most crops are not significantly reduced; a level of 2 to 4 dS/m affects

some crops; whereas most of the crops are significantly affected when salt levels ranges from 4 to 5 dS/m [49]. ECes around 7.7, 12, and 17 dS m⁻¹ are classified into low, moderate and high salinity level, respectively. Cotton is one of the advantageous salt tolerant crop with a threshold salinity level of 7.7 dS/m⁻¹ (equal to 0.5% or 77 mmol/L NaCl), but, the germination of cottonseed and emergence of seedling is generally delayed and reduced by high salinity levels [50]. At present, China has the largest saline soil area in the world used for cotton farming. According to the incomplete statistics, the plant cotton saline area is about 1.7 billion hm² [17].

Table 2

Many important crops are susceptible to soil salinity

Crop	Threshold salinity	Decrease in yield
	dS m ⁻¹	Slope % per dS m ⁻¹
Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.0	19.0
Eggplant (<i>Solanum melongena</i> L.)	1.1	6.9
Onion (<i>Allium cepa</i> L.)	1.2	16.0
Pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.)	1.5	14.0
Corn (<i>Zea mays</i> L.)	1.7	12.0
Sugarcane (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	1.7	5.9
Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	1.7	12.0
Cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	1.8	9.7
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	2.5	9.9
Rice, paddy (<i>Oryza sativa</i> L.)	3.0	12.0
Peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	3.2	29.0
Soybean (<i>Glycine max</i> L.)	5.0	20.0
Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	6.0	7.1
Sugar beet (<i>Beta vulgaris</i> L.)	7.0	5.9
Cotton (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	7.7	5.2
Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	8.0	5.0

Effect of salinity stress on plant and plant salinity response

Effect of salinity stress on plant

Under salinity stress conditions, soluble salts are accumulated in the root zone of plants [49], than causes osmotic and ionic stress [51]. We can see the two-phase model relating the osmotic and ionic effects of salt stress below (Fig. 1).

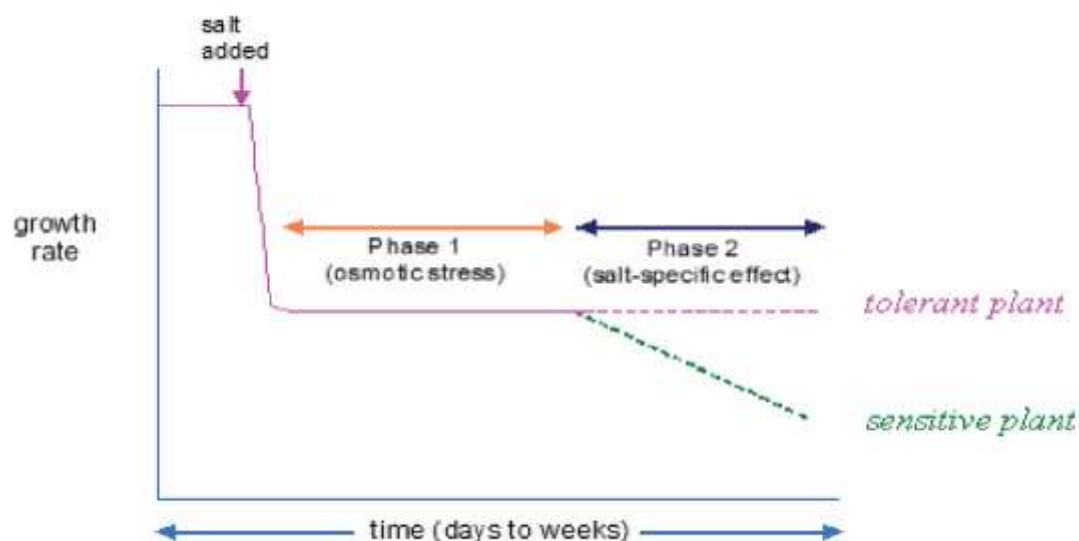


Figure 1. Scheme of the two-phase growth response to salinity [53]

In the first, osmotic effect starts rapidly after the salt concentrations especially Na and Cl level increases more than a threshold level and there is decrease in K, Ca, NO₃ and Pi concentrations in the root zone. Osmotic stress resulted in decrease water availability for the plant cells which leads to a decrease water uptake with cellular dehydration. Subsequently the rate of shoot growth falls significantly, moreover with the decrease rate of growing leaves expansion, slower rate of leaves emergence and slow lateral buds' development with fewer branches or lateral shoots formation. This non-specific effect is common to all dehydrative stresses including salinity, drought, and low temperatures and with some types of mechanical plant wounding [22]. The ion-specific effect is a secondary phase of the plant response to salinity, whereas higher levels of salt get accumulated in the older leaf parts and resulted in cell death. Hence, with the decrease in new leaf production due to more leaf necrosis, the photosynthetic rate of plants decreased having lower levels of carbohydrates, which is required for new leaf production [52, 53].

Plant salinity response mechanism

Plants differ in their ability to cope with these adverse factors. Depending on growth performance of these organisms in saline habitats, plants can be divided into two groups: salt-sensitive "glycophytes" and salt-tolerant "halophytes" [54]. Halophytes can complete their whole life cycle at salt concentrations higher than 200 mM NaCl [22], even can survive salinity in 300–400 mM extra salt concentration [52]. Some halophytic Amaranthaceae (*Salicornioideae*, *Chenopodioideae* and *Suaedoideae*) yield is significantly negatively affected at low salt concentrations, because their growth rate is stimulated at a salinity range of 150–300 mM NaCl [55]. Glycophytes, including most crop plants not only reduce their yield in high salt concentration, but also are killed by 100–200 mM NaCl [52].

Generally, three major factors determine the tolerance of plants to extreme environmental conditions (abiotic stresses) at molecular level:

1. **Genomic level:** Plants have differences at genome structure level, it is suggested that salt tolerant plants may have unique stress-responsive genes, which sensitive plants do not have.
2. **Transcriptomic level:** Tolerant plants have altered gene expression regulation features of stress-responsive genes than salt sensitive plants. Tolerant plants may enhance constitutive expression of several salinity-responsive transcripts. Enhanced constitutive expression of several salinity-responsive transcripts (SOS1, SOD, P5CS, GS, INPS, cytochrome P450, heat shock protein).
3. **Proteomic level:** Plants has differences in protein structure and activity level, thus proteins involved in the stress responses revealed an altered activity in tolerant plant than in susceptible ones because of the (differences in protein structure and activity level) [56].

Plants developed a combination of biochemical and molecular mechanisms to cope with salt stress situation. The specific biochemical strategy undertaken by plant is: (1) ion regulation and compartmentalization, (2) induced biosynthesis of compatible solutes, (3) induction of antioxidant enzymes, which are illustrated in figure further down (Fig. 2) [57].

Ion regulation and compartmentalization

Na⁺ enters roots passively, through voltage-independent nonselective cation channels and possibly through other Na⁺ transporters such as some members of the high-affinity K⁺ transporter (HKT) family [16] and may also block the K⁺ — specific transporters of root cells under salinity [24]. For plant development Ionic uptake and compartmentalization are key factors, most importantly during salt stress because of disturbance of ion homeostasis. Glycophyte or halophyte cannot tolerate higher salt in the cytoplasm, thus they restrict the excess salts in the vacuole or compartmentalize the ions in other plant tissues to carry out normal metabolic functions. Glycophytes also inhibit the sodium uptake or partition sodium that served as storage compartments and then die. Plants maintained low levels of cytosolic sodium levels by regulation of potassium and sodium transporters and H⁺ pumps that generate the driving force for transport of ions across the membranes [51]. To cope salinity, drought, cold, acid stress, anoxia, and excess heavy metals stress in the soil, survival of the plant cells solely depends on the maintenance or adjustment of the V-ATPase activity. Na⁺ stress is well known to cause Ca⁺⁺ depletion in the extracellular space and the outer surface of the plasma membrane, whereas increased extracellular Ca⁺⁺ also help to up regulates the cytosolic free calcium levels.

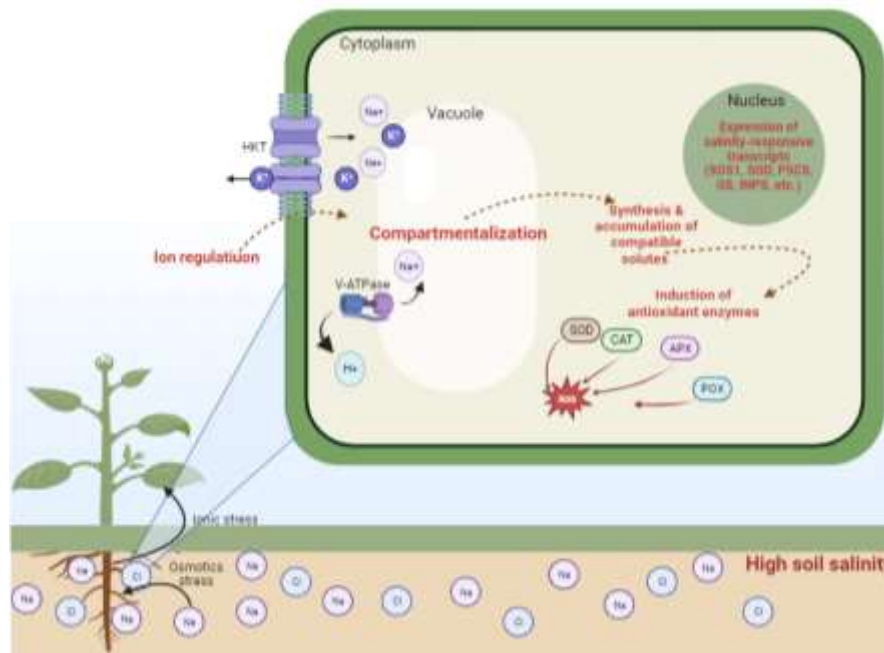


Figure 2. Plant response mechanism to salt stress (Illustration created on biorender.com platform)

Induced biosynthesis of compatible solutes

The accumulation of compatible solutes is often regarded as a basic strategy for the protection and survival of plants under abiotic stress conditions. These compatible solutes include mainly proline, glycine betaine (GB), sugars, and polyols [58–61]. Multiple functions for these compounds have been suggested. The conventional role of these compatible solutes is to maintain cell osmotic adjustment and reduce the water potential in high salinity condition [62]; they are also suggested to act as low-molecular-weight chaperones, stabilizing the photosystem II complex, protecting the structure of enzyme, proteins and inducing damages to cellular component, maintaining membrane integrity and scavenging ROS [58].

Induction of antioxidant enzymes

Salt, drought, heat and oxidative stress are related to an enhanced production of reactive oxygen species (ROS) such as O_2 , H_2O_2 , and OH [63]. These ROS can cause damage to the cellular membranes, function of photosynthetic apparatus, activities of various enzymes, and peroxidation of lipids. Salt-tolerant plants, besides being able to regulate the ion and water movements, should also have better antioxidation strategies to scavenge these toxic compounds [64]. These antioxidants (ROS scavengers) include enzymes such as catalase, superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) and glutathione reductase; non-enzyme molecules such as ascorbate, glutathione, carotenoids, and anthocyanins; compounds, such as osmolytes, proteins (e.g. peroxiredoxin) and amphiphilic molecules (e.g. tocopherol) [63, 65]. The antioxidants have been found to be key determinants of salt tolerance in different crops. For example, in order to determine whether cell membrane permeability, activities of antioxidant enzymes such as SOD, CAT and POX and K^+ vs. Na^+ selectivity criteria for salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) four lines, Dunkled, CON-III, Rainbow and Cyclone. RMP was found to be associated with the activities of antioxidant enzymes, SOD, CAT and POX and the lines differ significantly for shoot K^+/Na^+ ratios and shoot K^+ vs. Na^+ selectivity, but these traits prove not good indicators for salt tolerance in the canola. Overall relative cell membrane permeability and activities of antioxidant enzymes (SOD, CAT and POX) proved to be very effective in discriminating the canola cultivars for salt tolerance [66, 67] reported that the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation were associated with the dry mass production and consequently with the salt tolerance of the three maize cultivars [67]. Where in another study superoxide dismutase (SOD) activity increased significantly in both genotypes, and increases in amounts of transcript were observed for OsSOD3Cu/Zn and OsSODA1-Mn in the tolerant genotype and for OsSOD4-Cu/Zn, OsSOD3-Cu/Zn, OsSODCc1-Cu/Zn, OsSOD-Fe, and OsSODA1-Mn in the sensitive genotype [68].

References

- 1 Singh, A. (2021). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1); 39–67. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>
- 2 Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and Sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- 3 Batool, N., Shahzad, A., Ilyas, N., & Noor, T. (2014). Plants and Salt stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(9), 582.
- 4 Qadir, M., & Oster, J. (2004). Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of The Total Environment*, 323(1–3); 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.012>
- 5 Guo, Y., Huang, J., Shi, Z., & Li, H. (2015). Mapping spatial variability of soil salinity in a coastal paddy field based on electromagnetic sensors. *PLOS ONE*, 10(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127996>
- 6 Bauder, J.W. (2009). *Rainfall induced dispersion and hydraulic conductivity reduction under low SAR x EC combinations in smectite-dominated soils of eastern Montana (Southeast Montana Soil Assessment DEQ # 207066)*. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University, Bozeman, Montana, USA.
- 7 Lin, Z.-Q. & Bañuelos, G.S. (2014). Soil salination indicators. *Environmental Indicators*, 319–330. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9499-2_20
- 8 Allbed, A., Kumar, L., & Sinha, P. (2014). Mapping and modelling spatial variation in soil salinity in the Al Hassa Oasis based on remote sensing indicators and regression techniques. *Remote Sensing*, 6(2); 1137–1157. <https://doi.org/10.3390/rs6021137>
- 9 Allbed, A. & Kumar, L. (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: A Review. *Advances in Remote Sensing*, 02(04); 373–385. <https://doi.org/10.4236/ars.2013.24040>
- 10 Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S. (2011). Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A. *Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology*, 32; 667-685.
- 11 Artiola, J.F., Walworth, J.L., Musil, S.A., & Crimmins, M.A. (2019). Soil and land pollution. In M.L. Brusseau, I.L. Pepper, & C.P. Gerba (Eds.), *Environmental and pollution science* (3rd ed., pp. 219-235). Academic Press.
- 12 Sinha, D.D., Singh, A.N., & Singh, U.S. (2014). Site suitability analysis for dissemination of salt-tolerant rice varieties in southern Bangladesh. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL–8; 961–966. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-8-961-2014>
- 13 Tanji, K.K. (2002). Salinity in the soil environment. *Salinity: Environment — Plants — Molecules*, 21–51. https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3_2
- 14 Shrivastava, P. & Kumar, R. (2015). Soil Salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2); 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- 15 Bern, C.R., Clark, M.L., Schmidt, T.S., Holloway, J.M., & McDougal, R.R. (2015). Soil disturbance as a driver of increased stream salinity in a semiarid watershed undergoing energy development. *Journal of Hydrology*, 524; 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.020>
- 16 Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1); 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- 17 Wang, X.-p., Zhang, G.-X., Lu, X.-l., Wu, X.-h., Liu, Y.-H., & Cao, C.-X. (2011). Study on Identification Methods and Indexes of Salt Tolerance of Cotton Seedlings. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(3), 8Y-11.
- 18 Chen, Z., Liu, Y., & Shen, Y. (2015). Identification and Estimation of Salt Tolerance in Peanut Germplasm. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 16 (12), 2624.
- 19 Zhang, L.N., Wu Wei, Y.E., Wang, J.J., & Fan, B.X. (2010). Studies of Salinity-tolerance with SSR Markers on *G.hirsutum* L. *Cotton Science* 22; 175-180.
- 20 Peng, Z., HE, S.-P., Sun, J.-L., Xu, F.-F., Jia, Y.-H., Pan, Z.-E., Wang, L.-R., & Du, X.-M. (2014). An efficient approach to identify salt tolerance of upland cotton at Seedling Stage. *Acta Agronomica Sinica*, 40(3); 476. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1006.2014.00476>
- 21 Paul, D. & Lade, H. (2014). Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4); 737–752. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0233-6>
- 22 Kosova, K., Prašil, I., & Vıtamvas, P. (2013). Protein contribution to plant salinity response and tolerance acquisition. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4); 6757–6789. <https://doi.org/10.3390/ijms14046757>
- 23 Bibi, Z., Khan, Naqib Latif, A., Khan, M., Manyuan, G., Niu, Y., Khan, Q., Ullah Kh., Imdad Shaheen, S., & Sadozai, G.U.. (2016). Salt tolerance in upland cotton genotypes to nacl salinity at early growth stages. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(3); 766-775.
- 24 Chinnusamy, V., Jagendorf, A., & Zhu, J. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45(2); 437–448. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0437>
- 25 Zhu, J. (2007). Plant Salt Stress. *Encyclopedia of Life Sciences*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001300.pub2>
- 26 Devkota, M., Martius, C., Gupta, R.K., Devkota, K.P., McDonald, A.J., & Lamers, J.P.A. (2015). Managing soil salinity with permanent bed planting in irrigated production systems in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202; 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.006>
- 27 Metternicht, G.I. & Zinck, J.A. (2003). Remote Sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(02\)00188-8](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(02)00188-8)
- 28 Panah, S.K.A., Goossens, R., Matinfar, H.R., Mohamadi, H., Ghadiri, M., Irannegad, H., & Asl, M.A., (2008). The Efficiency of Landsat TM and ETM + Thermal Data for Extracting Soil Information in Arid Regions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10.

- 29 Yue-Ping, N. & Lin, Y. (2009). Applications and Development of archaeological remote sensing Technology in China. *Journal of Remote Sensing*, 13.
- 30 de Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., & Dearing, J.A. (2015). Remote Sensing of Ecosystem Services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 52; 430–443. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.007>
- 31 Puri, A.B. & Bhattacharyya, B. (2015). Remote sensing classification information extraction based on rough set theory. *Journal of Medical Genetics*, 45; 1246–1256.
- 32 Li, L., Li, L., & Song, K. (2015). Remote Sensing of freshwater cyanobacteria: An extended IOP inversion model of inland waters (IIMIW) for partitioning absorption coefficient and estimating phycocyanin. *Remote Sensing of Environment*, 157; 9–23. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.009>
- 33 AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F.S., Teixeira, J., Anderson, M.C., Wardlow, B.D., & Hain, C.R. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. *Reviews of Geophysics*, 53(2); 452–480. <https://doi.org/10.1002/2014rg000456>
- 34 Wang, F., Chen, X., Luo, G., Ding, J., & Chen, X. (2013). Detecting soil salinity with arid fraction integrated index and salinity index in feature space using Landsat TM imagery. *Journal of Arid Land*, 5(3); 340–353. <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0183-x>
- 35 Zhang, T.-T., Zeng, S.-L., Gao, Y., Ouyang, Z.-T., Li, B., Fang, C.-M., & Zhao, B. (2011). Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators*, 11(6); 1552–1562. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.025>
- 36 Lapina, K., Henze, D.K., Milford, J.B., & Travis, K. (2016). Impacts of foreign, domestic, and state-level emissions on ozone-induced vegetation loss in the United States. *Environmental Science & Technology*, 50(2); 806–813. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04887>
- 37 Mills, G., Harmens, H., Wagg, S., Sharps, K., Hayes, F., Fowler, D., Sutton, M., & Davies, B. (2016). Ozone impacts on vegetation in a nitrogen enriched and changing climate. *Environmental Pollution*, 208; 898–908. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.038>
- 38 Kooistra, L., Leuven, R.S., Wehrens, R., Nienhuis, P.H., & Buydens, L.M. (2003). A comparison of methods to relate grass reflectance to soil metal contamination. *International Journal of Remote Sensing*, 24(24); 4995–5010. <https://doi.org/10.1080/0143116031000080769>
- 39 Kooistra, L., Salas, E.A.L., Clevers, J.G.P.W., Wehrens, R., Leuven, R.S.E.W., Nienhuis, P.H., & Buydens, L.M.C. (2004). Exploring field vegetation reflectance as an indicator of soil contamination in river floodplains. *Environmental Pollution*, 127(2); 281–290. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(03\)00266-5](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(03)00266-5)
- 40 Naumann, J.C., Anderson, J.E., & Young, D.R. (2009). Remote detection of plant physiological responses to TNT soil contamination. *Plant and Soil*, 329(1–2); 239–248. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0148-1>
- 41 Somers, B., Tits, L., Verstraeten, W.W., & Coppin, P. (2010). Soil Reflectance Modeling & hyperspectral mixture analysis: Towards vegetation spectra minimizing the soil background contamination. *2010 2nd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/whispers.2010.5594864>
- 42 Piernik, A. (2003). Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity. *Basic and Applied Ecology*, 4(6); 525–536. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00154>
- 43 Tussipkan, D. & Manabayeva, S.A. (2022). Alfalfa (*Medicago sativa* L.): Genotypic diversity and transgenic alfalfa for phytoremediation. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.828257>
- 44 Myers, V.I., Carter, D.L., & Rippert, W.J. (1966). Remote Sensing for estimating soil salinity. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 92(4); 59–70. <https://doi.org/10.1061/jrcea4.0000455>
- 45 Li-ping, L., Xiao-hua, L., Hong-bo, S., Zhao-Pu, L., Ya, T., Quan-suo, Z., & Jun-qin, Z. (2015). Ameliorants improve saline-alkaline soils on a large scale in northern Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, 81; 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.032>
- 46 Zvyagintsev, D.G., Zenova, G.M., & Oborotov, G.V. (2008). Mycelial bacteria of saline soils. *Eurasian Soil Science*, 41(10); 1107–1114. <https://doi.org/10.1134/s106422930810013x>
- 47 Upadhyay, S.K. & Singh, D.P. (2014). Effect of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria on wheat plants and soil health in a saline environment. *Plant Biology*, 17(1); 288–293. <https://doi.org/10.1111/plb.12173>
- 48 Paul, D. & Lade, H. (2014). Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4); 737–752. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0233-6>
- 49 Bauder, T., Cardon, G., Davis, J., & Waskom, R. (2004). *Managing saline soils*. Colorado State University Cooperative Extension.
- 50 Ahmad, S., Khan, N.-I., Zaffar, M., Hussain, A., & Hassan, M. (2002). Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(6); 715–719. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.715.719>
- 51 Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3); 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- 52 Carillo, P., Grazia, M., Pontecorvo, G., Fuggi, A., & Woodrow, P. (2011). Salinity stress and salt tolerance. *Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations*. <https://doi.org/10.5772/22331>
- 53 Olias, R., Eljakaoui, Z., Pardo, J. M., & Belver, A. (2009). The Na⁺/H⁺ exchanger SOS1 controls extrusion and distribution of Na⁺ in tomato plants under salinity conditions. *Plant Signaling & Behavior*, 4(10); 973–976. <https://doi.org/10.4161/psb.4.10.9679>
- 54 Himabindu, Y., Chakradhar, T., Reddy, M.C., Kanygin, A., Redding, K.E., & Chandrasekhar, T. (2016). Salt-tolerant genes from halophytes are potential key players of salt tolerance in glycophytes. *Environmental and Experimental Botany*, 124; 39–63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.11.010>
- 55 Rozema, J. & Schat, H. (2013). Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of Saline Agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 92; 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.004>

- 56 Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, Md., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5); 9643–9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
- 57 Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H., & Brestic, M. (2014). Global Plant-responding mechanisms to salt stress: Physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4); 425–437. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.889080>
- 58 Chen, Z., Cuin, T. A., Zhou, M., Twomey, A., Naidu, B. P., & Shabala, S. (2007). Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16); 4245–4255. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm284>
- 59 Hai-juan, W., Xue, H., Wei, M., Xue-liang, W., & Cai-yun, L. (2015). Effect of compatible solutes under hypertonic conditions on the *Lactobacillus*. *Food Science and Technology*.
- 60 Kao, C.-H. (2015). Mechanisms of salt tolerance in rice plants: Compatible solutes and aquaporins. *Crop Environ Bioinform.* 12; 73–82.
- 61 Mitsuya, S., Fujiwara, T., Hattori, T., & Takabe, T. (2010). Mechanism of salt tolerance by using a compatible solute, glycine betaine, in gramineous barley plants. *Kagaku Seibutsu*, 48(7); 478–484. <https://doi.org/10.1271/kagakutoseibutsu.48.478>
- 62 Gagneul, D., Ainouche, A., Duhazé, C., Lugan, R., Larher, F. R., & Bouchereau, A. (2007). A reassessment of the function of the so-called compatible solutes in the halophytic Plumbaginaceae *limonium latifolium*. *Plant Physiology*, 144(3); 1598–1611. <https://doi.org/10.1104/pp.107.099820>
- 63 Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1); 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- 64 Abraham, G. & Dhar, D.W. (2010). Induction of salt tolerance in *Azolla microphylla* Kaulf through modulation of antioxidant enzymes and Ion Transport. *Protoplasma*, 245(1–4); 105–111. <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0147-3>
- 65 Uddin, M.I., Rashid, M.H., Khan, N., Perveen, M.F., Tai, T.H., & Tanaka, K. (2007). Selection of promising salt tolerant rice mutants derived from cultivar 'Drew' and their antioxidant enzymes activity under salt stress. *Sabrao Journal of Breeding & Genetics* 39; 643–646.
- 66 Ashraf, M. & Ali, Q. (2008). Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 63(1–3); 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008>
- 67 Azooz, M., Ismail, A., & Elhamd, M. (2009). Growth, Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzyme Activities as a Selection Criterion for the Salt Tolerance of Maize Cultivars Grown under Salinity Stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11.
- 68 Vighi, I.L., Benitez, L.C., Amaral, M.N., Moraes, G.P., Auler, P.A., Rodrigues, G.S., Deuner, S., Maia, L.C., & Braga, E.J. (2017). Functional characterization of the antioxidant enzymes in rice plants exposed to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 61(3); 540–550. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0727-6>

Д. Түсіпқан, М.Б. Рамазанова, Ш.А. Манабаева

Топырақтың тұздылығы және өсімдіктердің тұзға төзімділігі

Су ресурстарының жаһандық тапшылығы, қоршаған ортаның ластануы және топырақ пен судың тұздануының жоғарылауы ХХІ ғасырдың маңызды мәселесінің бірі. Өнеркәсіптік және ауылшаруашылық жұмыстарынан туындаған топырақтың ластануы адам денсаулығы мен экожүйеге үлкен қауіп төндіретін экологиялық мәселе. Мақалада біріншіден, топырақтың тұздану сипаттамалары және тұздану көрсеткіштері ұсынылған. Екіншіден, элементтің тұзды аймақтарына және топырақтың тұздану себептеріне назар аударылған. Үшіншіден, топырақтың тұздану аймақтарын картаға түсіру және бақылау мен топырақтың тұздануға төзімділігін арттыру шаралары қарастырылған. Төртіншіден, тұзданудан туындаған күйзелістің өсімдіктерге әсері және өсімдіктердің тұздануға реакциясы талқыланды. Мақаланың мақсаты — топырақтың тұздануына жан-жақты шолу жасау және болашақ зерттеулер үшін негізгі ақпаратты ұсыну.

Кілт сөздер: өсімдіктер, абиотикалық факторлар, күйзеліс, топырақтың сортаңдануы, тұзға төзімділік, ластану, тұздану, иондардың реттелуі.

Д. Түсіпқан, М.Б. Рамазанова, Ш.А. Манабаева

Засоленность почвы и солеустойчивость растений

Глобальная нехватка водных ресурсов, экологическое загрязнение и возросшее засоление почвы и воды стали заметной проблемой начала ХХІ века. Загрязнение почв, вызванное промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, представляет собой экологическую проблему, представляющую серьезную угрозу здоровью человека и экосистемам. В обзоре представлены, прежде всего, характеристики засоления почв и показатели засоления. Во-вторых, мы сосредоточили внимание на засоленных территориях мира и причинах засоления почв. В-третьих, рассмотрели картирование, мониторинг зон

засоления почв и меры по повышению устойчивости почв к засолению. В-четвертых, обсуждалось влияние стресса, вызванного засолением, на растения и реакцию растений на засоление. Целью этого обзора является предоставление всестороннего обзора засоления почв и фундаментальной информации для будущих исследований.

Ключевые слова: растения, абиотические факторы, стресс, засоление почвы, солеустойчивость, загрязнение, засоление, регуляция ионов.

Information about authors

Tussipkan, Dilnur — PhD, leading researcher, National Center for Biotechnology, Astana, Kazakhstan; tdilnur@mail.ru;

Ramazanova, Malika Baglanovna — Master in natural sciences, Laboratory Assistant, National Center for Biotechnology, Astana, Kazakhstan; malikaramazan.7@gmail.com;

Manabayeva, Shuga Askarovna — PhD in biology, Head of the Plant Genetic Engineering Laboratory of NCB, National Center for Biotechnology, Astana, Kazakhstan; manabayeva@biocenter.kz.

T.A. Vdovina*, O.A. Lagus, A.N. Danilova, E.A. Isakova

Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan

*Corresponding author: lelik_ridder1994@mail.ru

Seasonal dynamics of photosynthetic pigments (chlorophylls *a*, *b* and carotenoids) in woody plants of the Altai Botanical Garden

This article reflects the results of studies of photosynthetic pigments (chlorophylls *a*, *b* and carotenoids) in 14 species of deciduous plants (trees and shrubs) and one coniferous *Juniperus sabina* L. in the Altai Botanical Garden during two growing seasons. The following species have a high accumulation of pigments: *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Lonicera tatarica* L. For the coniferous species *Juniperus sabina* L. low levels of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids are characteristic. *Berberis thunbergii* DC is also distinguished by a low accumulation of photosynthetic pigments. Minor differences between the species were noted in the content of carotenoids, twelve species were included in the group with low and medium content of this pigment. There is no definite pattern in the accumulation of carotenoids, and the data on the types and number of yellow pigments do not differ significantly. As a result of the conducted studies, a correlation was revealed between the content of carotenoids and the content of chlorophyll *a* in most species. The data obtained indicate the presence of species specificity in the content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids. Also, the photosynthetic apparatus of woody plants is sensitive to light and water conditions.

Keywords: content, species, trees, shrub, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids.

Introduction

The criteria for the functional state of woody plants are the state of the photosynthetic apparatus of the plant organism, which is very sensitive to external influences: the content of pigments, changes in the anatomical structure of the leaf apparatus. Assimilation activity of plants is the primary metabolic process, the effectiveness of which is determined by growth and reproductive processes. Undoubtedly, photosynthetic structures and processes are indicators of the general state of the plant organism [1]. A number of works are devoted to the study of the structural and functional features of the photosynthetic apparatus of woody plants [2–4]. During introductory movements, changes in physiological functions, plasticity, and the content of chlorophylls and carotenoids, the main photoreceptors of a photosynthetic cell, occur. In this regard, an in-depth study of the biological and physiological characteristics of woody plants in the conditions of the mountain-forest zone of the East Kazakhstan region is relevant.

It is known that chlorophylls and carotenoids play an important role in the processes of photosynthesis. They are responsible for the absorption and conversion of energy in photochemical reactions and the protection of the photosynthetic apparatus from oxidation. In addition, pigments have a variety of biological activities and can affect human health [5]. The similarity of the chemical structure of chlorophyll and heme of the non-protein part of hemoglobin determined the use of chlorophyll preparations in medicine as agents that enhance hematopoiesis and increase immunity. Chlorophyll also has antimicrobial, wound healing, anti-inflammatory, tonic effects, stimulates the heart, respiratory center and neuromuscular system, removes toxins, normalizes blood pressure, and prevents the formation and deposition of calcium [6, 7].

Experimental

The object of the study was 15 species of woody plants growing in the dendroflora area of the Altai Botanical Garden. The content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids was determined in the coniferous species — *Juniperus sabina* L., deciduous species (trees) — *Acer ginnala* Maxim., *Acer tataricum* L., *Betula pendula* Roth., *Crataegus sanguinea* Pall., *Fraxinus lanceolata* Bjrckh., *Padusracemosa* (Lam.) Gilib. *Tilia cordata* L., *Juglans cinerea* L., deciduous species (shrubs) — *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Berberis thunbergii* DC., *Berberis vulgaris* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Lonicera tatarica* L., *Corylus avellana* L.

The content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids was determined using a Jenway spectrophotometer mod. 6300 (320–1000 nm, slit 8 nm, single-beam, non-scanning). From each species, fragments of 3 leaves were taken for fixation, in triplicate according to the Godnev method [8]. The pigments were extracted in a

96 % solution of ethanol, porcelain mortar until the consistency of a homogeneous slurry. When determining the concentration of chlorophyll, the pigment was carefully removed from an accurately taken sample, not allowing the loss of a single drop of the extract. The volume of the extract was 10 ml. Further, the values were obtained at optical density D470, D644, D663, which were used for calculations the content of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids according to the formulas.

Chlorophyll a $12.25 \cdot A_{663} - 2.79 \cdot A_{644}$

Chlorophyll b $21.50 \cdot A_{644} - 5.10 \cdot A_{663}$

Carotenoids $(1000 \cdot A_{470} - 1.82 \cdot cA_{85.02} \cdot cB) / 198$.

To distribute the observed species for each physiological parameter, the data were divided into classes with the lowest, average, and highest values. So, according to the content of chlorophyll a, — low content in the range of 3.34–9.06 mg / l, average — 9.07–14.79 mg / l, high — 14.80–20.51 mg / l, according to chlorophyll b — low content 0.10–0.51 mg / l, average — 2.52–4.93 mg / l, high — 4.94–7.33 mg / l, for carotenoids — low — 4.08–5.95 mg/l, average — 5.96–7.83 mg/l, high — 7.84–9.70 mg/l [9].

Results and discussions

The plants participating in the experiment grow in the arboretum of the Altai Botanical Garden with favorable conditions for the water regime of the soil. The results of studies during two growing seasons showed that photosynthetic pigments of plants are sensitive to changes in temperature and soil moisture. In the studied species, the average value for chlorophyll a in deciduous trees is 11.62 mg/l, deciduous shrubs — 10.81 mg/l; chlorophyll b — 1.57 mg/l; carotenoids in deciduous trees — 6.12 mg/l, deciduous shrubs — 6.68 mg/l. Weather conditions for the growing season 2022 contributed to the increased accumulation of the above pigments by 2–6 mg/l. In the second decade of July 2021 the lowest content of chlorophyll a was noted in the tree species *Fraxinus lanceolata* Bjrckh. — 8.13 mg/l and shrub *Berberis vulgaris* L. — 4.98 mg/l (Fig. 1, 2).

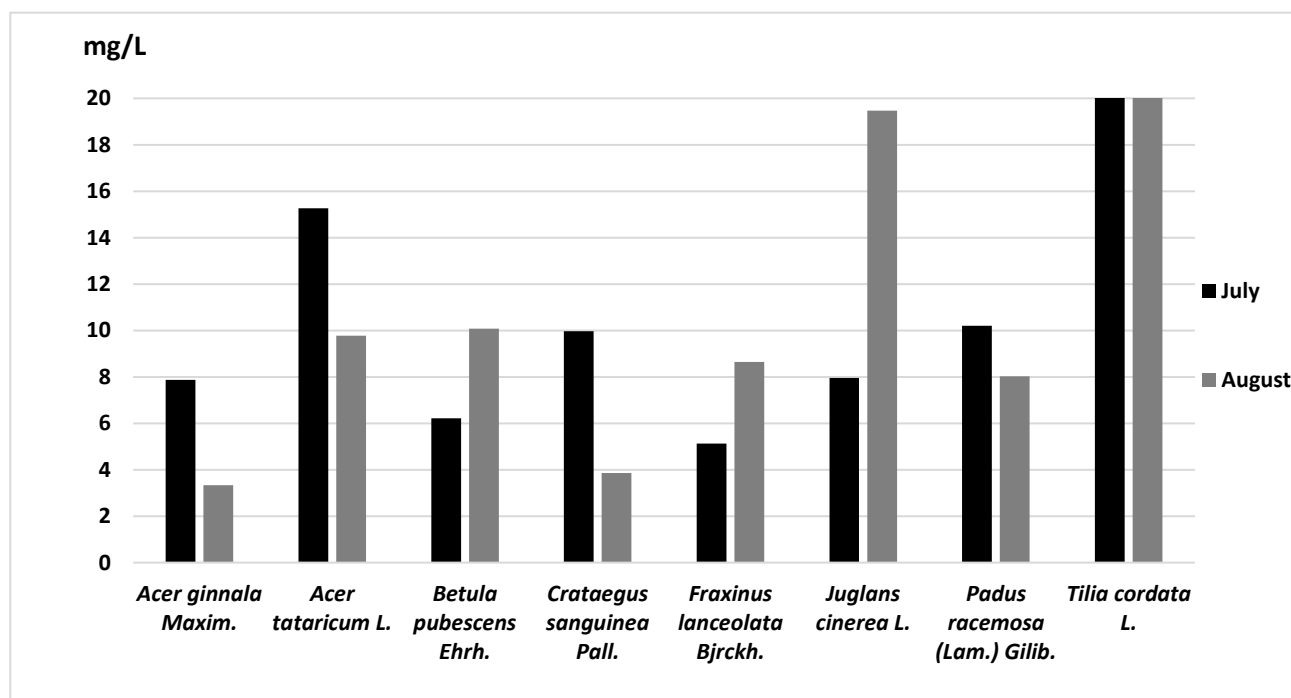


Figure 1. Seasonal dynamics of chlorophyll a content in deciduous species (trees) (mg/l wet matter) for the growing season 2021

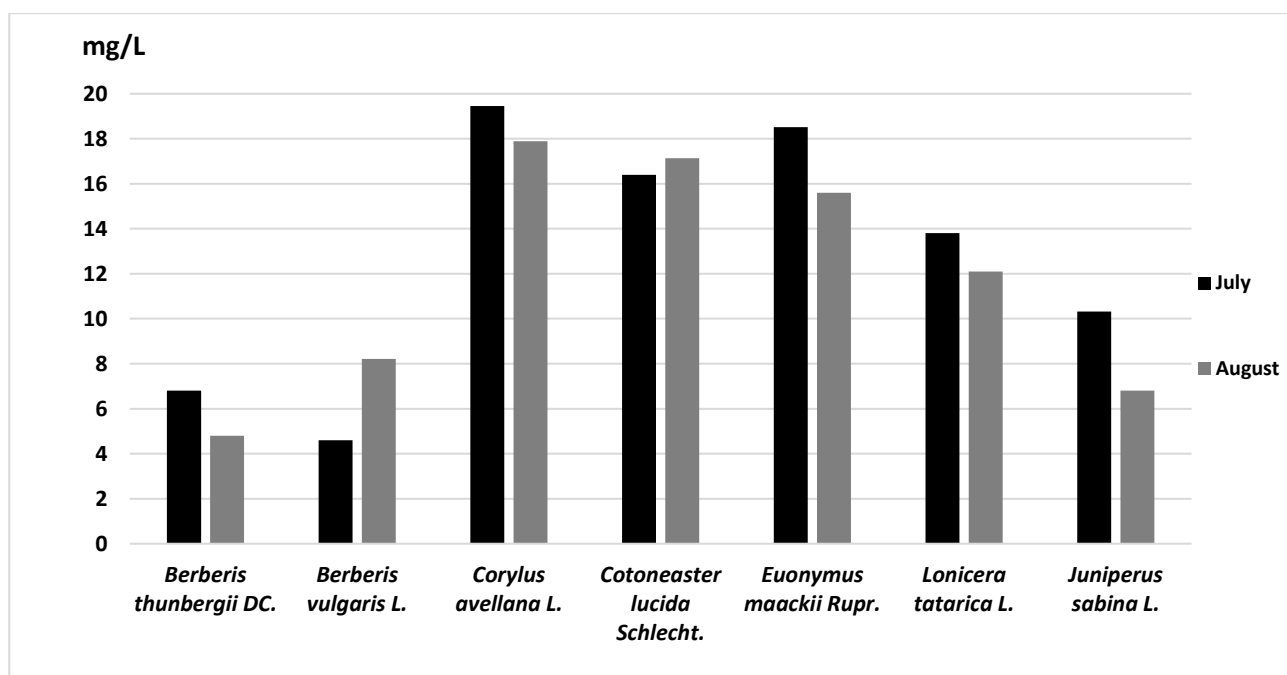


Figure 2. Seasonal dynamics of chlorophyll a content in deciduous species (shrubs) and coniferous species — *Juniperus sabina* L. (mg/l wet matter) for the growing season 2021

The highest value for this pigment was noted in two tree species: *Acer tataricum* L. — 15.26 mg/l, *Tilia cordata* L. — 16.14 mg/l and three shrub species — *Cotoneaster lucidus* Schlecht. — 17.14 mg/l, *Euonymus maackii* Rupr. — 18.51 mg / l and *Corylus avellana* L. — 19.46 mg/l. In *Padusracemosa* (Lam.) Gilib., *Lonicera tatarica* L., *Crataegus sanguinea* Pall. the maximum values for chlorophyll a vary within the following limits (6.80–13.55 mg/l). They are noted at the beginning of the season (first two analyses).

In July 2021 most of the species had a high content of chlorophyll a. Then there was a decrease in the level of this indicator and at the end of the growing season (in the second decade of August), the content of chlorophyll a in the leaves of plants is the lowest. This is clearly expressed in species: *Padus racemosa* (Lam.), *Acer ginnala* Maxim., *Juniperus sabina* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Crataegus sanguinea* Pall. At the same time, an increase in this pigment is observed in the following species — *Fraxinus lanceolata* Bjrckh., *Juglans cinerea* L., *Acer tataricum* L., *Corylus avellana* L., *Berberis vulgaris* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht. In the second decade of August (August 17), the maximum accumulation of chlorophyll a was noted only in tree species: *Tilia cordata* L. — 21.66 mg/l, *Juglans cinerea* L. — 19.47 mg/l. During this period, they do not observe coloring of the leaves.

Low level (average values) for the content of chlorophyll a in tree species for the growing season 2021 noted in the coniferous species *Juniperus sabina* L. — 7.95 mg/l, in two deciduous species (trees) — *Acer ginnala* Maxim. — 8.22 mg/l, *Crataegus sanguinea* Pall. — 7.19 mg / l and two deciduous (shrub) — *Berberis thunbergii* DC. — 5.38 mg/l, *Berberis vulgaris* L. — 8.45 mg/l. With a low content of chlorophyll a — 5 species (33.3 %), medium — 4 species (26.6 %), high — 6 species (40.0 %) [9].

In 2022 almost all species have the same accumulation of chlorophyll a during the growing season, with the exception of two dates (8.08. and 22.08.), when the data were out of the general range of figures. So, *Acer ginnala* Maxim. during the growing season, the values for chlorophyll a are constant and only at the end of August 22.08. there is a sharp decrease in it by half to 5.71 mg/l compared with the average value of 11.63 mg/l (Fig. 3).

Betula pendula Roth. the low content of chlorophyll a — 6.62 mg/l was noted in early August (08.08.), and the high content — 18.45 mg/l falls on the end of August. In *Padus racemosa* (Lam.) Gilib. the content of chlorophyll a decreases in August to 5.51 mg/l compared to an average value of 9.30 mg/l. Also at the end of the season (22.08.) it decreases in *Corylus avellana* L. to 12.48 mg/l, the average is 18.24 mg/l and *Euonymus maackii* Rupr. up to 9.99 mg/l, average 13.65 mg/l (Fig. 4).

In the species *Acer tataricum* L., on the contrary, there is a slight increase in this pigment to 18.97 mg/l in the first ten days of August (08.08.) in comparison with the average value of 15.04 mg/l. In *Berberis vul-*

garis L., this indicator increased sharply at the end of August (August 22) to 18.45 mg/l compared to the average of 10.27 mg/l.

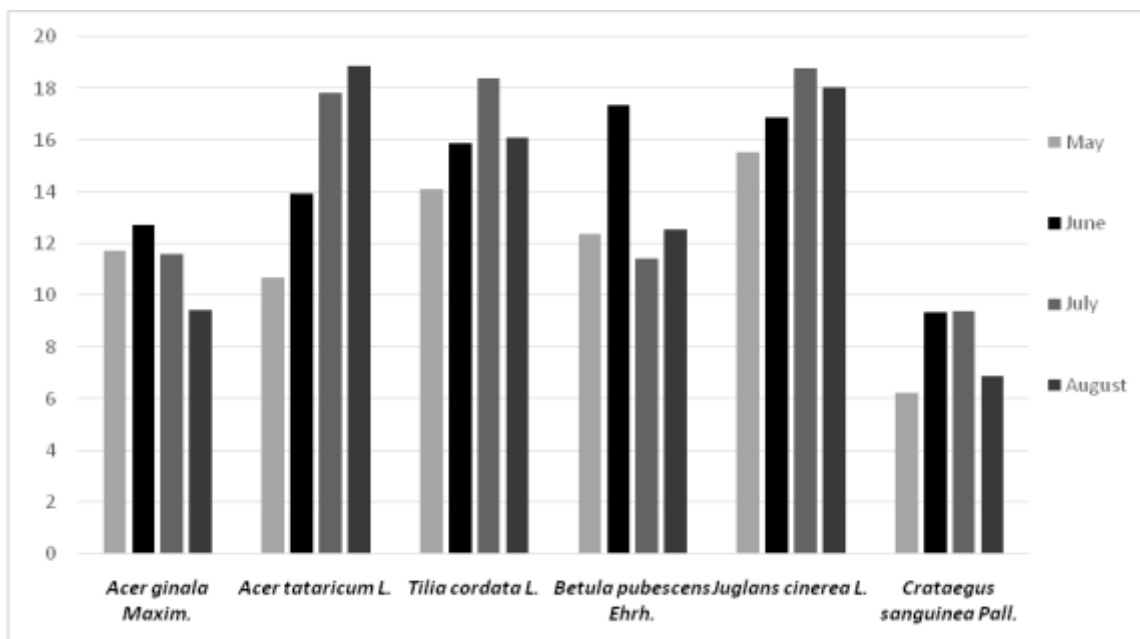


Figure 3. Seasonal dynamics of chlorophyll a content in deciduous species (trees) (mg/l wet matter) for the growing season 2022: 1 — May, 2 — June, 3 — July, 4 — August

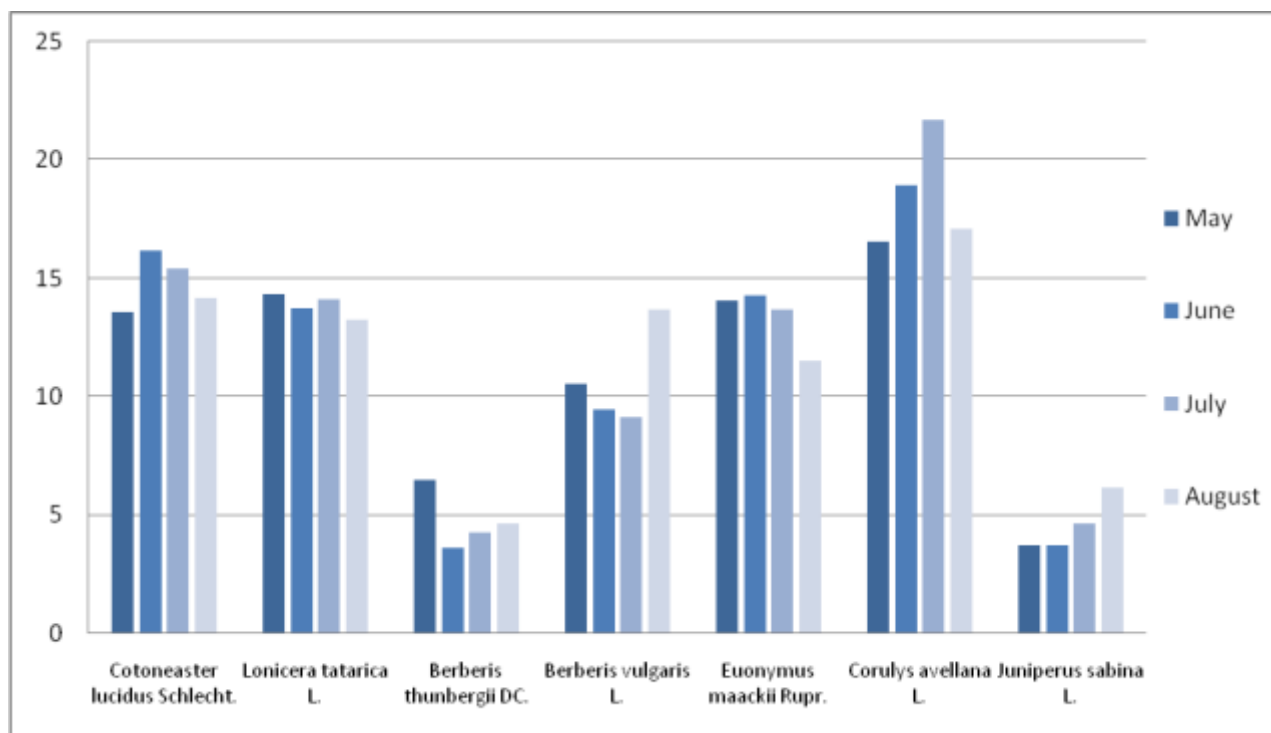


Figure 4. Seasonal dynamics of chlorophyll a content in deciduous species (shrubs) and coniferous species (mg/l wet matter) for the growing season of 2022: 1 — May, 2 — June, 3 — July, 4 — August

If in 2021 by the end of the growing season, there is an increase in chlorophyll a in ten species: *Acer ginnala* Maxim., *Betula pendula* Roth., *Crataegus sanguinea* Pall., *Fraxinus lanceolata* Bjrckh., *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Corylus avellana* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Lonicera tatarica* L., then in 2022 — in four species: *Acer tataricum* L., *Betula pendula* Roth., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana* L. Low content of chlorophyll a during the growing season of 2022 noted in *Cra-*

taegus sanguinea Pall. — 7.58 mg/l, *Berberis thunbergii* DC — 4.84 mg/l, *Juniperus sabina* L. — 4.40 mg/l. *Acer ginnala* Maxim. there was a rapid decrease in the amount of chlorophyll a at about the same time from 5.08.2021 as of 17.08.2021 (8.84 mg/l to 3.34 mg/l by 2.6 times) and from 8.08.2022 as of 22.08.2022 (13.21 mg/l to 5.71 mg/l 2.3 times).

For chlorophyll b, low rates were noted on average, 1.57 mg / l. Its synthesis is much less than that of chlorophyll a. Its lowest content is in *Juniperus sabina* L. (0.62 mg/l in 2021 and 0.40 mg/l in 2022), the highest in *Corylus avellana* L. (3.71 mg/l in 2021 and 3.96 mg/l in 2022), average values. 10 species have a low content of this pigment, of which 5 are tree species, 4 are shrubs and one is coniferous (66.7 %), the average value was noted in four species (26.6 %), with a high accumulation of one species *Corylus avellana* L. (6.7 %). Its lowest content in *Juniperus sabina* L. is 0.40 mg/l, the highest in *Juglans cinerea* L. is 3.56 mg/l, *Tilia cordata* L. is 2.86 mg/l, *Corylus avellana* L. is 3.96 mg/l, average values.

Carotenoids are an integral component of the antioxidant system of plant protection, causing a response to stress factors. According to the content of this pigment, the average value for species over two years is 6.34 mg/l. *Cotoneaster lucidus* Schlecht has the highest value (9.66 mg/l in 2021 and 7.56 mg/l in 2022), *Corylus avellana* L. (9.71 mg/l in 2021 and 7.33 mg/l in 2022), *Berberis thunbergii* DC (9.24 mg/l in 2021), *Tilia cordata* L. (7.71 mg/l in 2022), *Lonicera tatarica* L. (7.65 mg/l in 2022) and minimal *Fraxinus lanceolata* Bjrckh. (4.13 mg/l in 2021), *Crataegus sanguinea* Pall. (4.39 mg/l in 2022) (Fig. 5–8).

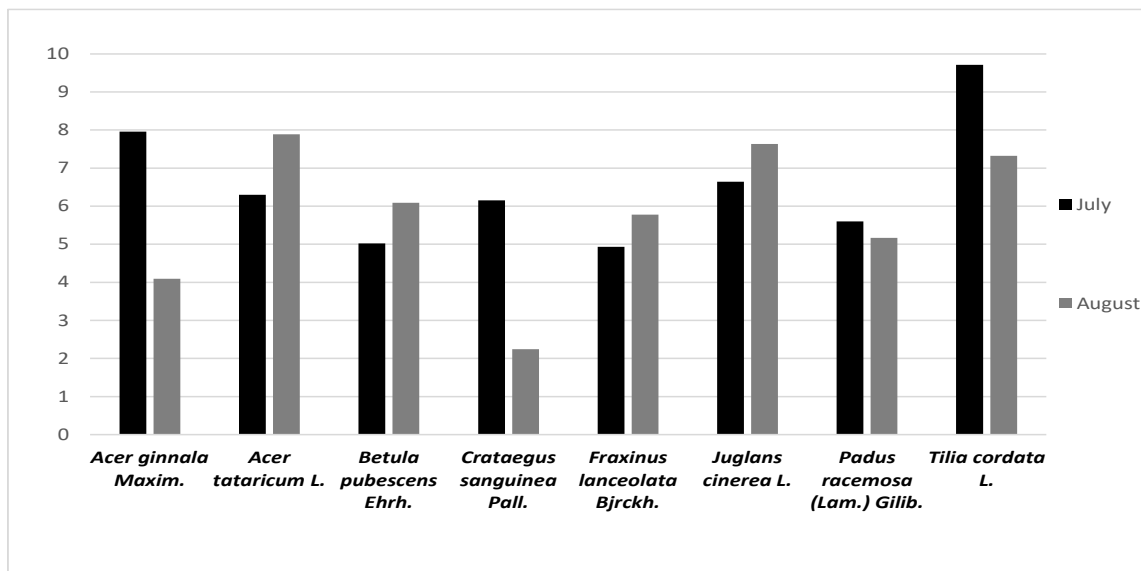


Figure 5. Seasonal dynamics of the content of carotenoids in deciduous species (trees) (mg/l wet matter) for the growing season 2021: 1 — July, 2 — August

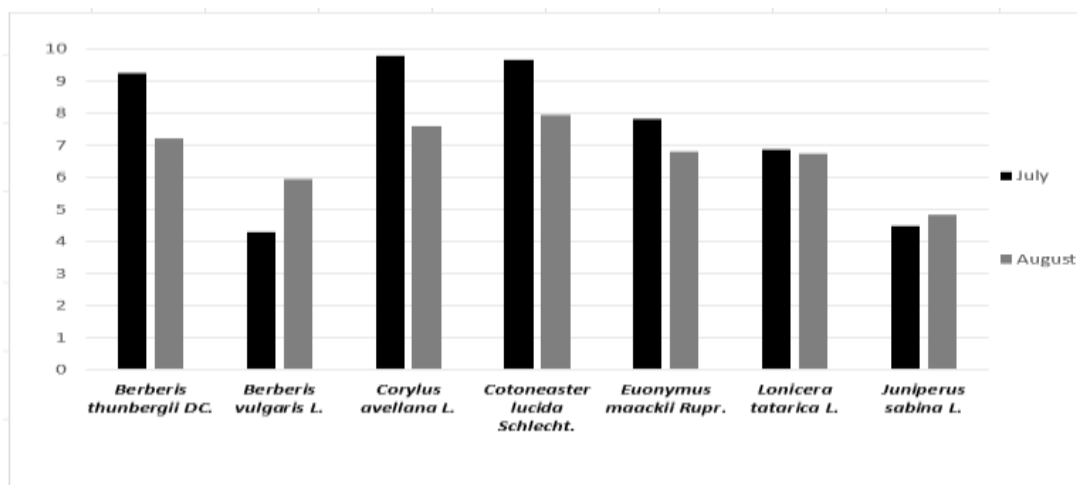


Figure 6. Seasonal dynamics of the content of carotenoids in deciduous species (shrubs) and coniferous species — *Juniperus sabina* L. (mg/l wet matter) for the growing season of 2021: 1 — July, 2 — August

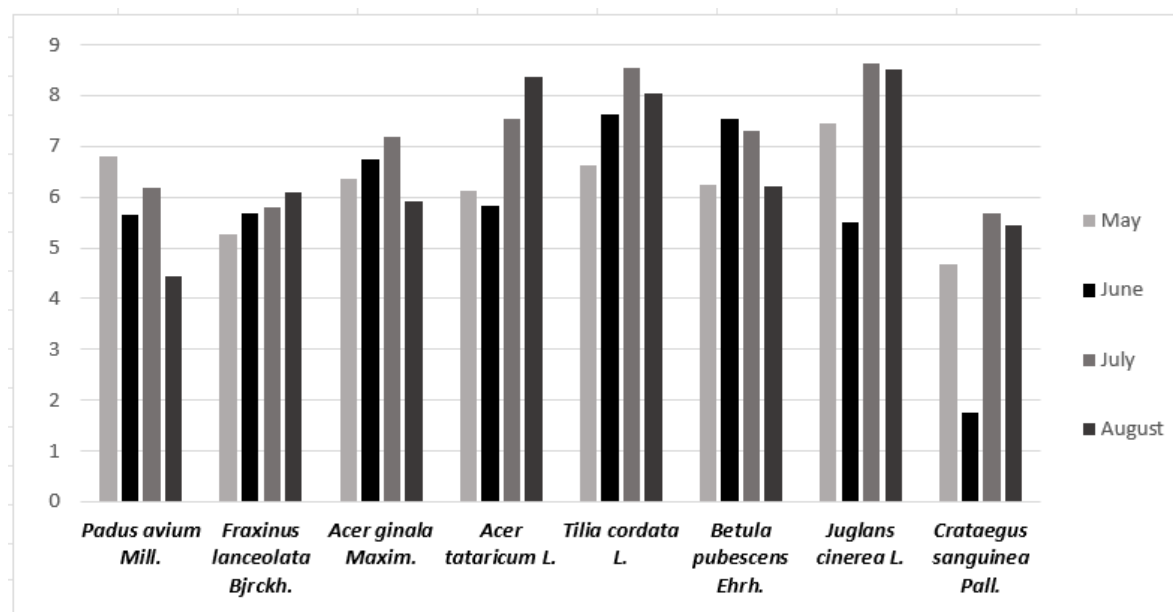


Figure 7. Seasonal dynamics of the content of carotenoids in deciduous species (shrubs) and coniferous species – *Juniperus sabina* L. (mg/l wet matter) for the growing season of 2022: 1 — May, 2 — June, 3 — July, 4 — August

A definite pattern in the accumulation of carotenoids was not revealed, and the data on the types and amounts of yellow pigments do not differ significantly. The high accumulation of this pigment by the end of the growing period of 2021 deciduous species (trees) were characterized: *Acer tataricum* L. — 8.21 mg/l, *Betula pendula* Roth. — 6.08 mg/l, *Juglans cinerea* L. — 7.63 mg/l. Of the deciduous species (shrubs), *Berberis thunbergii* DC contains the most carotenoids. — 9.18 mg/l, *Berberis vulgaris* L. — 5.94 mg/l.

Almost at the same mark for two seasons, the content of carotenoids in *Lonicera tatarica* L. and *Fraxinus lanceolata* Bjrkch. (6.25–6.87 mg/l and 4.99–6.27 mg/l, respectively). The lowest indicator for the content of carotenoids was noted in the coniferous species *Juniperus sabina* L. — 4.65 mg/l in 2021, and 3.57 mg/l in 2022. As a result of the research, it was found that four species have a low content of carotenoids (26.6 %), eight species have an average content (53.3 %) and three species have a high content (20.1 %). During the growing seasons, the data on the accumulation of carotenoids among the studied species differ slightly.

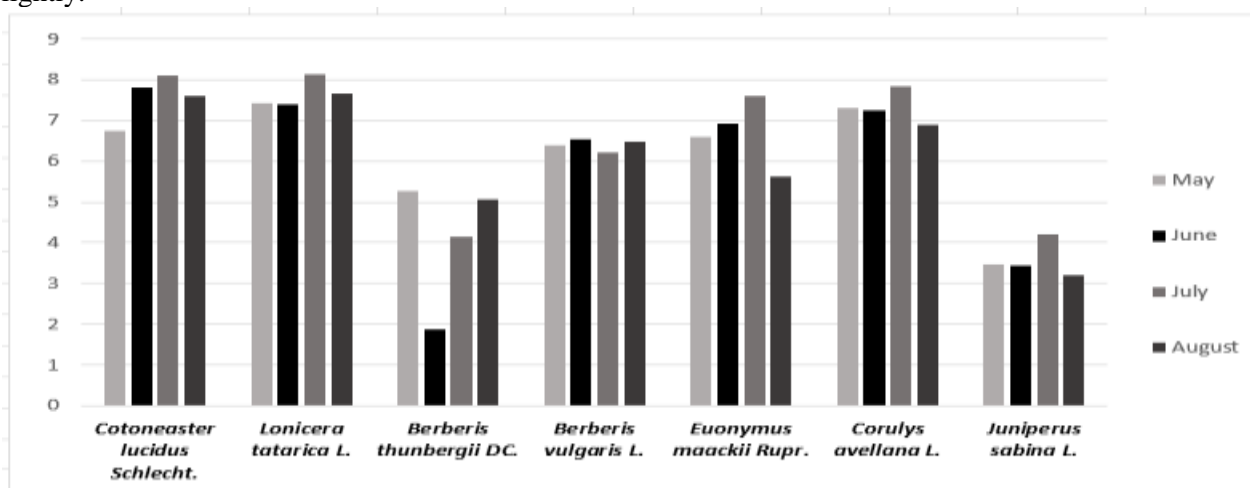


Figure 8. Seasonal dynamics of the content of carotenoids in deciduous species (shrubs) and coniferous species — *Juniperus sabina* L. (mg/l wet matter) for the growing season of 2022: 1 — May, 2 — June, 3 — July, 4 — August

As a result of the analyses performed, a correlation was found between the amount of chlorophyll a and carotenoids. This was clearly confirmed by the highest and lowest values in 25 cases out of 120 determinations in 2022. The same weather conditions at the end of June and July (27.06., 29.07.) 2022. influenced the

equal ratio in the accumulation of chlorophyll a and carotenoids in six species: *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Euonymus maackii* Rupr., *Lonicera tatarica* L.

In tree species *Crataegus sanguinea* Pall. and *Padus racemosa* (Lam.) Gilib. there is a gradual decrease in the content of pigments: chlorophyll a and carotenoids in the period from 19.07. to 17.08. during the growing season 2021. So, in the first species for chlorophyll a — from 10.19 mg / l to 8.02 mg / l, for carotenoids — from 5.60 mg / l to 5.16 mg / l. In *Crataegus sanguinea* Pall. for chlorophyll a — from 9.96 mg / l to 3.86 mg / l, for carotenoids — from 6.14 mg / l to 3.78 mg / l. The same decrease in the above-mentioned pigments was noted in the shrub species *Euonymus maackii* Rupr. for chlorophyll a — from 18.51 mg / l to 14.27 mg / l, for carotenoids — from 7.81 mg / l to 6.51 mg / l.

Two species of *Cotoneaster lucidus* Schlecht. and *Tilia cordata* L. there is a more active accumulation of chlorophyll a and carotenoids. So, in the first species in 2021 accumulation of chlorophyll a is equal to 18.10 mg/l, in 2022 — 14.79 mg/l, carotenoids in 2021 — 8.34 mg/l, in 2022 — 7.56 mg / l. The second species in 2021 accumulation of chlorophyll a — 18.25 mg / l, in 2022 — 16.01 mg/l, accumulation of carotenoids in 2021 — 8.09 mg/l in 2022 — 7.71 mg / l. which made it possible to refer them to the first class, with a high accumulation.

In terms of chlorophyll a, a high content over two years was noted in *Euonymus maackii* Rupr. — 16.66 mg/l in 2021 and 13.65 mg/l in 2022, respectively, and in *Juglans cinerea* L 17.18 mg/l and 17.21 mg/l. In terms of carotenoids, *Corylus avellana* L. has a higher concentration of 8.32 mg/l in 2021 and 7.33 mg/l in 2022, respectively.

The results of studies during two growing seasons of *Juniperus sabina* L. needles showed low values of photosynthetic pigments: 4.40 mg/l for chlorophyll a, 0.40 mg/l for chlorophyll b, and 3.57 mg/l for carotenoids. If we take into account the weather conditions (drought and after rain), then after rain the content of chlorophyll a and carotenoids in it increases slightly from 4.10 mg / l to 4.69 mg / l and from 3.06 mg / l to 4.08 mg/l, respectively.

Conclusions

The analyzes performed showed that the accumulation of chlorophylls a, b and carotenoids is specific for each species of woody plants and depends on genetic characteristics, water and light regimes of the plant, leaf age, and other conditions. In the studied species during the growing seasons, the average value for chlorophyll a — in deciduous trees is 11.62 mg/l, deciduous shrubs — 10.81 mg/l, chlorophyll b — 1.57 mg/l, carotenoids in deciduous trees — 6.12 mg/l, deciduous shrubs 6.68 mg/l. Weather conditions 2022 contributed to the increased accumulation of the above pigments by 2–6 mg/l. The lowest concentration of all photosynthetic pigments is observed in three species: *Juniperus sabina* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Berberis thunbergii* DC., the highest is observed in four species: *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana*. Photosynthetic pigments, being a single complex, are in a certain ratio characteristic of each species. Based on the results of the analyzes, a direct relationship was revealed between the content of chlorophyll a and carotenoids.

Acknowledgements

The research was conducted according to the scientific and technical program “Studying the current state of the species diversity of vascular plants in Kazakhstan using modern methods of botany, molecular genetics and bioinformatics” for 2023–2024.

References

- 1 Бухарина И.Л. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) / И.Л. Бухарина, П.А. Кузьмин, И.И. Гибадулина // Вестн. Удмурт. ун-та. — 2013. — Вып. 1. — С. 20–25.
- 2 Белова Т.А. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных растений средней полосы России / Т.А. Белова, Л.А. Бабкина // Электрон. науч. журн. Курск. гос. ун-та. — 2017. — № 2 (14). — С. 1–5.
- 3 Тишкина Е.А. Особенности сезонной динамики фотосинтетических пигментов в хвое интродукционных популяций *Juniperus communis* L. / Е.А. Тишкина, Л.А. Семкина // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2018. — Т. 20, № 5(3). — С. 473–478.
- 4 Старикова Е.А. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды / Е.А. Старикова, О.Л. Воскресенская // Изв. высш. учеб. завед. Поволжский регион. Естественные науки. — 2020 — № 2 (30). — С. 32–42.

- 5 Дымова О.В. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность / О.В. Дымова, Т.К. Головки // Изв. Уфим. науч. центра РАН. — 2018. — № 3(4). — С. 5–16.
- 6 Федосеева Л.М. Изучение и сравнительная оценка липофильных веществ зеленых, красных и черных листьев бадана толстолистного, произрастающего на Алтае / Л.М. Федосеева, Т.С. Малолеткина // Химия растительного сырья. — 1999. — № 2. — С. 113–117.
- 7 Давидянц Э.С. Динамика содержания пигментов в листьях силфий пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L.) в зависимости от фазы развития и сезонных факторов / Э.С. Давидянц, В.В. Кравцов // Химия растительного сырья. — 2022. — № 1. — С. 105–113.
- 8 Викторов Д.П. Малый практикум по физиологии растений / Д.П. Викторов. — М.: Высш. шк., 1983. — 135 с.
- 9 Вдовина Т.А. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных интродуцентов Алтайского ботанического сада / Т.А. Вдовина, О.А. Лагус, А.Н. Данилова, Е.А. Исакова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — 2022. — Т. 21, № 1. — С. 20–24.

Т.А. Вдовина, О.А. Лагус, А.Н. Данилова, Е.А. Исакова

Алтай ботаникалық бағының ағаш өсімдіктеріндегі фотосинтетикалық пигменттердің (*a*, *b* хлорофилдері және каротиноидтар) маусымдық динамикасы

Мақалада Алтай ботаникалық бағындағы екі вегетациялық кезеңде 14 жапырақты өсімдіктердің (ағаштар мен бұталар) және *Juniperus sabina* L. бір қылқан жапырақты өсімдігінің фотосинтетикалық пигменттерінің (*a*, *b* хлорофилі және каротиноидтар) зерттеу нәтижелері берілген. Келесі түрлер пигменттердің жоғары жинақталуына ие: *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Lonicera tatarica* L. *Juniperus Sabina* L. қылқан жапырақты түрлеріне *a*, *b* хлорофилі және каротиноидтардың құрамы төмен. Сондай-ақ, фотосинтетикалық пигменттердің төмен жинақталуы *Berberis thunbergii* DC-мен ерекшеленеді. Түрлер арасындағы шамалы айырмашылықтар каротиноидтардың құрамымен белгіленген, 12 түрі осы пигменттің төмен және орташа тобына кіреді. Каротиноидтардың жинақталуының белгілі бір заңдылықтары анықталған жоқ, ал сары пигменттердің түрлері мен саны туралы мәліметтер айтарлықтай ерекшеленбейді. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде көптеген түрлердегі каротиноидтар мен *a* хлорофилі құрамы арасындағы корреляция анықталды. Алынған деректер бойынша *a*, *b* хлорофилдерінің және каротиноидтардың құрамындағы түрлердің ерекшелігінің болуын көрсетті. Зерттелетін ағаш түрлері *a*, *b* хлорофилдерінің және каротиноидтардың құрамындағы түрге тән реакциямен сипатталады. Ағаш өсімдіктерінің фотосинтетикалық аппараты жарық пен су режиміне сезімтал.

Кілт сөздер: түрлер, ағаштар, бұталар, құрамы, *a* хлорофилі, *b* хлорофилі, каротиноидтар.

Т.А. Вдовина, О.А. Лагус, А.Н. Данилова, Е.А. Исакова

Сезонная динамика фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) у древесных растений в Алтайском ботаническом саду

В статье отражены результаты исследований фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) у 14 видов листовых растений (деревья и кустарники) и одного хвойного *Juniperus Sabina* L. в Алтайском ботаническом саду в течение двух вегетационных периодов. Высоким накоплением пигментов обладают виды: *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L., *Tilia cordata* L., *Corylus avellana* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Lonicera tatarica* L. Для хвойного вида *Juniperus sabina* L. характерны низкие показатели по содержанию хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. Также низким накоплением фотосинтетических пигментов отличается *Berberis thunbergii* DC. Незначительные различия между видами отмечены по содержанию каротиноидов, двенадцать видов включены в группу с низким и средним содержанием этого пигмента. Определенной закономерности по накоплению каротиноидов не выявлено, и данные по видам и количеству желтых пигментов разнятся незначительно. В результате проведенных исследований выявлена корреляция между содержанием каротиноидов и хлорофилла *a* у большинства видов. Полученные данные свидетельствуют о наличии видоспецифичности в содержании хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. Исследуемые древесные виды характеризуются видоспецифической реакцией в содержании хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. Фотосинтетический аппарат древесных растений чувствителен к световому и водному режиму.

Ключевые слова: вид, деревья, кустарник, низкое и высокое содержание, хлорофилл *a*, *b*, каротиноиды, фотосинтетический аппарат.

References

- 1 Bukharina, I.L., Kuzmin, P.A., & Gibadulina, I.I. (2013). Analiz sodержaniia fotosinteticheskikh pigmentov v listiakh drevesnykh rastenii v usloviiax gorodskoi sredy (na primere g. Naberezhnye Chelny) [Analysis of photosynthetic pigments content in leaves of woody plants in urban environment (on the example of Naberezhnye Chelny)]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta — Bulletin of Udmurtia University*, 1; 20–25 [in Russian].
- 2 Belova, T.A. & Babkina, L.A. (2017). Izmenenie sodержaniia khlorofillov i karotinoidov v listiakh drevesnykh rastenii srednei polosy Rossii [Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in leaves of woody plants of the middle zone of Russia]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta — Electronic scientific journal of Kursk state University*, 2 (14); 1–5 [in Russian].
- 3 Tishkina, E.A. & Semkina, L.A. (2018). Osobennosti sezonnoi dinamiki fotosinteticheskikh pigmentov v khvoe introduktsionnykh populiatsii *Juniperus communis* L. [Peculiarities of seasonal dynamics of photosynthetic pigments in conifers of introduced populations of *Juniperus communis* L.]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk — Proceedings of Samara Scientific centre of Russian Academy of Science*, 20, 5(3); 473–478 [in Russian].
- 4 Starikova, E.A. & Voskresenskaia, O.L. (2020). Sezonnaia dinamika sodержaniia fotosinteticheskikh pigmentov u khvoinykh rastenii v usloviiax gorodskoi sredy [Seasonal dynamics of photosynthetic pigments content in coniferous plants under urban conditions]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki — News of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences*, 2 (30); 32–42 [in Russian].
- 5 Dymova, O.V. & Golovko, T.K. (2018). Fotosinteticheskie pigmenty: funktsionirovanie, ekologiya, biologicheskaiia aktivnost [Photosynthetic pigments: function, ecology, biological activity]. *Izvestiia Ufmskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk — Proceedings of Ufa scientific centre RAS*, 3(4); 5–16 [in Russian].
- 6 Fedoseeva, L.M. & Maloletkina, T.S. (1999). Izuchenie i sravnitelnaia otsenka lipofilnykh veshchestv zelenykh, krasnykh i chernykh listev badana tolstolistnogo, proizrastaiushchego na Altae [Study and comparative evaluation of lipophilic substances of green, red and black leaves of the thick-leaved badanum growing in the Altai Mountains]. *Khimiia rastitelnogo syria — Chemistry of Plant Raw Materials*, 2, 113–117 [in Russian].
- 7 Davidiants, E.S. & Kravtsov, V.V. (2022). Dinamika sodержaniia pigmentov v listiakh silfii pronzennolistnoi (*Silphium perfoliatum* L.) v zavisimosti ot fazy razvitiia i sezonnykh faktorov [Dynamics of pigment content in leaves of *Silphium perfoliatum* L. depending on developmental phase and seasonal factors]. *Khimiia rastitelnogo syria — Chemistry of Plant Raw Materials*, 1; 105–113 [in Russian].
- 8 Viktorov, D.P. (1983). *Malyi praktikum po fiziologii rastenii [Small workshop on plant physiology]*. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].
- 9 Vdovina, T.A., Lagus, O.A., Danilova, A.N., & Isakova, E.A. (2022). Soderzhanie khlorofillov i karotinoidov v listiakh drevesnykh introdutsentov Altaiskogo botanicheskogo sada [Chlorophyll and carotenoid content in leaves of woody introductions of the Altai Botanical Garden]. *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii — Problems of botanists of Southern Siberia and Mongolia*, 21(1), 20–24 [in Russian].

Information about authors

Vdovina, Tatyana Afanasyevna — Candidate of biological sciences, Leading Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; tvdovina@mail.ru;

Lagus, Olga Anatolyevna — Junior Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; lelik_ridder1994@mail.ru;

Danilova, Alefina Nikolaevna — candidate of biological sciences, Leading Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; a-n-danilova@yandex.ru;

Isakova, Elena Alekseevna — Senior Researcher, Altai Botanical Garden, Ridder, Kazakhstan; lena12378@bk.ru.

R.M. Ualiyeva*

Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

**Corresponding author: ualiyeva.r@gmail.com*

Monitoring of phytophages in spring wheat agrocenoses in view of applying different agrotechnological methods in the conditions of the North-East of Kazakhstan

The article discusses issues related to the impact of agrotechnical practices (sowing time and preceding crop) on the number and species diversity of pests in spring wheat varieties of foreign and Kazakhstan breeding in the conditions of the North-East of Kazakhstan. In order to increase plant resistance to pests and identify the impact of various preceding crops the research in 2022 was conducted in agricultural organizations located in the regions of North-Eastern Kazakhstan. The spring and summer of the vegetation period of 2022 were characterized by high temperatures and a lack of moisture in the soil, impact of which is seen in the form of turgor decrease in plant organisms and their resistance to various damages. In the course of early sowing of Triso wheat, the plants were more affected at the initial stage of development by the lack of moisture in the soil and high temperatures, which identified in the form growth retardation and increased plant susceptibility to pest damage. The sowing of other varieties was carried out at the optimal time recommended by the scientific institutions of the region — in the period of May 15–24. This allowed the culture to develop normally and avoid the most vulnerable phases during the maximum level of summer precipitation, which is typical for North-Eastern Kazakhstan in the third decade of June. The practical significance of the work is in the possibility of effective implementation of protective measures and optimization of the agricultural technology used in accordance with the soil and climatic conditions of crop cultivation and species diversity of phytophages.

Keywords: phytophages, abundance, species composition, spring wheat, foreign and Kazakhstan breeding varieties, sowing time, climatic conditions, preceding crop.

Introduction

Wheat (*Triticum*) is the main food grain crop in the Republic of Kazakhstan. According to the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, the total gross harvest of agricultural crops in 2021 was 16 375.9 thousand tonnes, with wheat accounting for 11 814.1 thousand tonnes, or about 73% [1].

Pests and plant diseases destroy more than 25% of the potential yield of food crops each year. Thus, during pest mass reproduction years, spring wheat yield drops to 23.2%; during epiphytoty years, disease output falls to 40.0–60.0% [2].

Human activity has created unfavourable conditions for entomofauna on agricultural lands, resulting in a decrease in the number of insects and an increase in the number of phytophagous species adapted to the specific conditions developing in spring wheat agrocenoses.

Since phytophages do not need to expend much energy while seeking food, agricultural intensification has accelerated the adaptive diversity of pests and their rapid reproduction. In addition, grain crops (such as spring wheat) are more nutritious than wild cereals. As a result, the natural balance between harmful and beneficial insects is disturbed, and herbivorous species multiply rapidly. Thus, the transition in steppe environments to resource-saving strategies such as crop residue preservation and crop saturation, mostly with spring wheat, provides circumstances for the development and dominance of pest populations with a long biological cycle [3].

As a result, improving the phytosanitary condition of agricultural crops is important for achieving high production and profitability of spring wheat crops. The patterns of creation of the phytosanitary situation in agrobiocenoses, on the basis of which measures for protection are planned and organized, must be regularly updated in order to prevent losses of the spring wheat harvest due to pests [4].

Correctly chosen crop cultivation techniques, such as crop rotation, varieties, sowing and harvesting schedules, etc., also play an important role in improving plants' pest resistance [5–7]. One perspective method for combating pests is to choose wheat varieties that are resistant to their impacts, because varieties react differently to insect damage: some significantly decrease yield, while others do not. For instance, sucking insects like aphids and bugs clearly exhibit this. Sun pests are less damaging to rapidly ripening varieties [8].

Furthermore, local producers sow not only wheat varieties of Kazakhstan breeding but also promising highly productive varieties of foreign breeding, which are not adapted to the region's unfavourable soil and climatic conditions, as well as to local phytophages, necessitating further research.

Crop rotation and sowing dates are two agricultural practices that can be used to efficiently control pests' life conditions, minimising crop losses and quality reductions from phytophages. Additionally, the effects of various agricultural practices will appear differently in various agro-climatic areas [9]. As a result, agricultural technology techniques must be chosen with the soil and climatic features of a specific area, or even an individual farm, as well as taking into account the commonly prevalent forms of wheat phytophages.

The purpose of the scientific research is to conduct phytosanitary monitoring of agrocenoses of spring wheat varieties of foreign and Kazakhstan breeding, taking into account the influence of agrotechnical practices on the species composition and pest number in agricultural crops in the North-East of Kazakhstan (using the example of the Pavlodar region) as one of the main regions of the republic for grain production.

Experimental

The Pavlodar region is characterized by a considerable diversity of natural conditions. It is located mainly within two natural areas: steppe and desert steppe [10].

For phytosanitary monitoring, we selected the main wheat cropping areas in different parts of the region (Zhelezin District, Uspen District, and Ertis District), which differ in climatic conditions, vegetation, and geological structure, which determine the corresponding diversity of soil cover.

The studies were carried out during the growing season of 2022 in typical agricultural organizations for various preceding crops.

Zhelezin District is located in the northern part of the Pavlodar region. The area is characterized by low rainfall and low relative humidity in spring and the first half of summer, maximum rainfall in midsummer, high summer and winter temperatures, late spring and early fall frosts, and high wind activity during the year. The minimum temperature is in January-February, where the average temperature in January is minus 18-19°C. The maximum temperature is in June-July, where the average temperature in July is plus 19-20°C. The average annual rainfall is 275.5 mm, sometimes more than 300 mm.

Vegetation is represented by forb-feather associations; there are some aspen and birch forest outliers. Soil covering is represented by southern black soil, more often they are solonetzic and solodised, forming complexes and combinations with solonetz and meadow-chernozem solonetzic soils, occurring in depressions. The presence of complexes with solonetzic soils creates heterogeneity and spotting of the fields, which leads to the uneven appearance of seedlings and thinning of crops.

In this district, the following fields were examined: 17, field area 215 ha, the preceding crop is complete fallow (2021) and 35, field area 298 ha, the preceding crop is spring wheat (2021).

Sowing on the field 17 was carried out on May 18; seed placement depth 5-6 cm, seeding rate 110 kg/ha, agricultural technology is generally accepted for this region, row spacing — 15 cm; the variety is “Likamero”. The seeds were treated with the fungicide Citizen before planting (240 g of active component tebuconazole per 1 l).

“Likamero” variety breeder is Secobra Recherches (France); its parentage is (Hanno × Devon) × (STRU689 × Quattro). The variety is *lutescens*. This variety is characterized by rapid development in the early phases, good resistance to lodging, very high resistance to spikelet fusariosis, root rot, powdery mildew, and brown rust is affected poorly, high protein content in the grain. This is a compensatory type, which forms its harvest by having a high ear and 1000 grains weight, the vegetation period is 72–97 days, it is moderately drought-resistant. Baking qualities are good, can be sown in early terms, not afraid of early spring frosts.

Sowing on the field No. 35 was carried out on May 23; seed placement depth 5-6 cm, seeding rate 120 kg/ha, direct sowing on a stubble background, row spacing — 15 cm; the variety is “Uralosibirskaya”, the seeds were not treated before sowing.

The breeder of the “Uralosibirskaya” variety is Federal State Budgetary Scientific Institution “Siberian Research Institute of Agriculture” and LLC “Agrocomplex “Kurgan Semena”” (Russia). Variety is *lutescens*. The vegetation period is 78–93 days, drought tolerance is good. It is moderately susceptible to leaf rust, powdery mildew, and root rot. In the field conditions, it is strongly affected by dust bunt and septoriosis.

“Uralosibirskaya” variety has increased resistance to adverse environmental factors, thanks to the thick straw, has a high resistance to lodging, a high percentage of preservation of the stem.

Uspen District is located in the north-eastern part of the Pavlodar region. The climate of the area is marked by a sharply arid spring and the first half of the summer. The average January temperature — 19.6°C, July +19.6–21.4°C, the amount of rainfall averaged 260–310 mm per year, most of which falls in the second half of summer, so growth and development of culture are largely determined by the amount of moisture stored before sowing.

Soils of the district are dark-chestnut soils of light granulometric composition in the complex with solonetz and meadow-chestnut soils. It has fescue-feather, vermouth, and vermouth-feather vegetation.

In this district, the following fields were examined: 56, field area 425 ha, the preceding crop is spring wheat (2021) and 68, field area 520 ha, the preceding crop is complete fallow (2021).

Sowing on the field No. 56 was carried out on April 30; seeding rate 110 kg/ha, agricultural technology is generally accepted for this region, row spacing — 15 cm; the variety is “Triso”.

The breeder of the “Triso” variety is Deutsche Saatveredelung AG (Germany); its parentage is Kadett × Weihenstephan Stamm. Variety is *lutescens*. This variety is characterized by good lodging resistance, the vegetative period is 85–90 days, baking quality is good, moderately susceptible to brown rust, powdery mildew, strongly susceptible to smut. Variety intensive type, double-root, that is, when sown in the fall, develops as a winter form, when sown in spring as spring, which provides the variety with high adaptive properties. It can be sown as early as possible to achieve high tillering, the variety is not afraid of frost.

Sowing on the field No. 68 was carried out on May 20; seeding rate 110 kg/ha, agricultural technology is generally accepted for this region, row spacing — 15 cm; the variety is “Omskaya 35”.

Before sowing, the seeds were treated with the fungicide Dividend Extreme (active ingredient: difenoconazole (92 g/l) + mefenoxam (23 g/l)) and the insecticide Caliber (active ingredient: clothianidin (600 g/l)).

The breeder of the “Omskaya 35” variety is Federal State Budgetary Scientific Institution “Omsk Agrarian Scientific Center” (Russia). The variety is *lutescens*. Its vegetation period is 87–90 days; resistant to lodging, moderately drought tolerant. Moderately susceptible to brown rust, susceptible to dusty mildew, strongly susceptible to hard knotweed, stem rust, powdery mildew, root rot.

The “Omskaya 35” variety has a high potential yield and forms high-quality heavy grains. Thanks to the high productivity in combination with resistance to diseases and lodging, this variety can successfully compete with varieties of similar ripeness groups.

Ertis District is located in the north-western part of the Pavlodar region. Features of the climate are a short spring and autumn, with extremely unstable temperature, with sharp fluctuations from warm to cold, and often from hot to freezing, hot and dry summer, the amount of rainfall averages 250–310 mm. The average temperature of January is 18°C, July is +20°C.

Soils are chernozemic and chestnut, loamy, sandy loam, and sandy in granulometric composition, solonchic complexes are also widespread. It has fescue-feather-vermouth vegetation.

In this district, the following fields were examined: 37, field area 368 ha, the preceding crop is spring wheat (2021) and 53, field area 317 ha, the preceding crop is flax (2021).

Sowing on the field No. 37 was carried out on May 6; seeding rate 110 kg/ha, agricultural technology is generally accepted for this region, row spacing — 15 cm; the variety is “Triso”. Sowing on the field No. 53 was carried out on May 20; seeding rate 110 kg/ha, agricultural technology is generally accepted for this region, row spacing — 15 cm; the variety is “Kazakhstanskaya 15”. Before sowing, the seeds were treated with Inshur Perform fungicide (active ingredient: triticonazole (80 g/l) + pyraclostrobin (40 g/l) + Seed Start growth stimulator.

Seed Start growth stimulator increases germination energy and field germination of seeds, increases the viability of seedlings, provides them with initial nutrition, stimulates the growth and development of the root system, and increases plant resistance to drought, frost, and diseases.

The breeders of the “Kazakhstanskaya 15” variety are LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production” and LLP “Pavlodar Research Institute of Agriculture” (Kazakhstan). Variety is *lutescens*. The vegetation period is 85–90 days. It is resistant to lodging, preharvest germination of grain. The variety is resistant to drought and brown rust.

The study period included phenological observations of crop development stages, the recording of meteorological data, determining the biometric parameters of the crop, and the number and species composition of insects in wheat crops. Pests were counted using quantitative methods [11-12].

Pests living on plants were enumerated at discount areas. A light frame 50 cm in length and 50 cm in width was placed on the soil surface to count the number of species that were on plants and fell on the soil

(within the area bounded by the frame). This method was used for counting sun pests, cereal leaf beetle, cereal chafers, corn ground beetles, pea leaf weevils, meadow moth caterpillars, and many others.

We used an aerial insect net to count pests according to the mowing method. This method helps to count pests in the upper layer of the grass stand. A standard net (hoop diameter 30 cm, receiving bag depth 60 cm, and handle length 1 m) was used. The net was swung 10 times over the upper part of the grass stand without interruption. Then its contents were transferred from the net and the number of insects was counted. Ten series of sweeps were made so that their total number reached 100.

Infestation of plants by the grain flea beetle was evaluated in each field in ten places by checking ten plants and evaluating the degree of leaf surface devouring by the fleas on a five-point scale: 0–5% was scored as 1 point; 6–25% as 2 points; up to 50% as 3 points; up to 75% as 4 points; 76–100% as 5 points [11].

Insect Keys were used to assess the species composition of insects.

Statistical data processing was carried out using Microsoft Excel 2007. Pearson correlation coefficients, errors, and criteria for the significance of the correlation coefficient were calculated to assess the relationship between climatic factors during the growing season and the number of plant-feeding species in wheat crops. Differences were considered statistically significant at the $p < 0.05$ level.

Results and Discussion

In the ongoing research in 2022, wheat thrips (*Haplothrips tritici*), grain flea beetles (*Phyllotreta vittula*), stem flea beetles (*Chaetonema aridula*), bugs (*Trigonotylus ruficornis*), and wheat aphids (*Schizaphis graminum*) were among the dominant pests for crops of spring wheat varieties of foreign and Kazakhstan breeding. However, their distribution over the research locations and for different preceding crops is uneven. Other pests were identified in small numbers, and there was no significant damage to plants.

In the Zhelezin District, field No. 17 is characterized by the beginning of wheat tillering in the first ten days of June and slight damages (less than 7%, 1 point) on the leaves by the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*). The colonization of crops by the main grain phytophages was not seen due to the early development stage of wheat.

In the second ten days of June, the stem elongation stage was observed: there were some damages (10–12%, 2 points) by the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*). Active colonization of plants by wheat thrips (*Haplothrips tritici*) was revealed (ranging from 3 to 7 insects per 1 stem).

On July 15, 2022, crops were treated with a tank mixture of pesticides against weed monocotyledons and dicotyledons, pests and diseases. Clorid 200 insecticide was used for treatment against pests (active ingredient: imidacloprid — 200 g/l). The protective period of this insecticide is 18–25 days. Thus, at the time of the field study (July 21, 2022), only small numbers of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) and grain flea beetles (*Phyllotreta vittula*) were observed.

In the second decade of July, a period of grain ripening was identified. Imagoes of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) (5–6 per 1 plant) with their signs of ears and leaves damage were identified. During this time, the number of grain pests increased significantly, accounting for 93% of all insect groups. It is possible that the effectiveness of the Clorid 200 insecticide was lower as part of a multi-component tank mixture. In addition, the duration of protection was 18–25 days. Wheat thrips (*Haplothrips tritici*) and stem flea beetles (*Chaetonema aridula*) larvae and imagoes reached their maximum number (33.2% and 56.8%, respectively).

The crop entered the full maturity stage in the second ten days of August. The plant height averaged 77 cm, the ear length was 7–8 cm, the grain was heavy and large. At the end of the wheat vegetation there was a 50.3% decrease in the number grain pests associated with the migration of many species to nearby stations in search of food.

Field No. 35 entered the complete shoots stage in the beginning of June; no insect infestation of the crops was noted.

The second decade of June was characterized by the tillering stage of crops, while there was slight damage by grain flea beetle on the leaves (6%, 1 point), and the presence of wheat thrips on the plants was noted (4–5 species per 1 stem). The number of polyphagous and associated pests was insignificant.

The number of thrips on one plant increased to 5–6 species by the grain-ripening stage. Areas of damage from thrips were recognized on the leaves and ears of plants. During this period, there was an increase in the number of grain pests up to 92.7%, with wheat thrips (*Haplothrips tritici*) dominating among them.

At the beginning of full maturity, the height of plants varied from 62 to 91 cm, the ear length was 5–8 cm, the grain was small and incomplete. The majority of phytophages were found on individual plants

during the dough stage, but their quantity dropped to 42.3% when crop development was complete. The main share of pests accounted for: wheat aphid (*Schizaphis graminum*) (29.1%), grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (17.4%), small brown planthopper (*Laodelphax striatella*) (17.4%), leaf bug (*Trigonotylus ruficornis*) (18.6%).

Figure 1 illustrates the results of collecting phytophages of spring wheat by stages of crop vegetation and several preceding crops in the Zhelezin District.

In the Uspen District (field No. 56) in the first ten days of June, the tillering-beginning of stem elongation phase was observed, which resulted in the yellowing of leaves due to high temperatures and lack of moisture in the soil, as well as damage by the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (5–10%, 2 points). In the course of field inspection, pests were found in small numbers, which is associated with the treatment of seeds before sowing with the contact insecticide Caliber (active ingredient: clothianidin (600 g/l), which has a long period of protective action.

The plants entered the heading phase in the third decade of June; the ear was heavily damaged by the imago of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) (10–15 species per 1 ear), which indicates the necessity for extra insecticidal treatment of plants. The crops were stunted (up to 30 cm), and the leaves were characterized by signs of grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) damage (10%, 2 points). At the same time, damages by *Haplothrips tritici* (15–20%) were seen on the leaves and ears. Grain pests outnumber other insect groups by nearly twice (51.8%), with wheat thrips (*Haplothrips tritici*) accounting for 96.5% of this total.

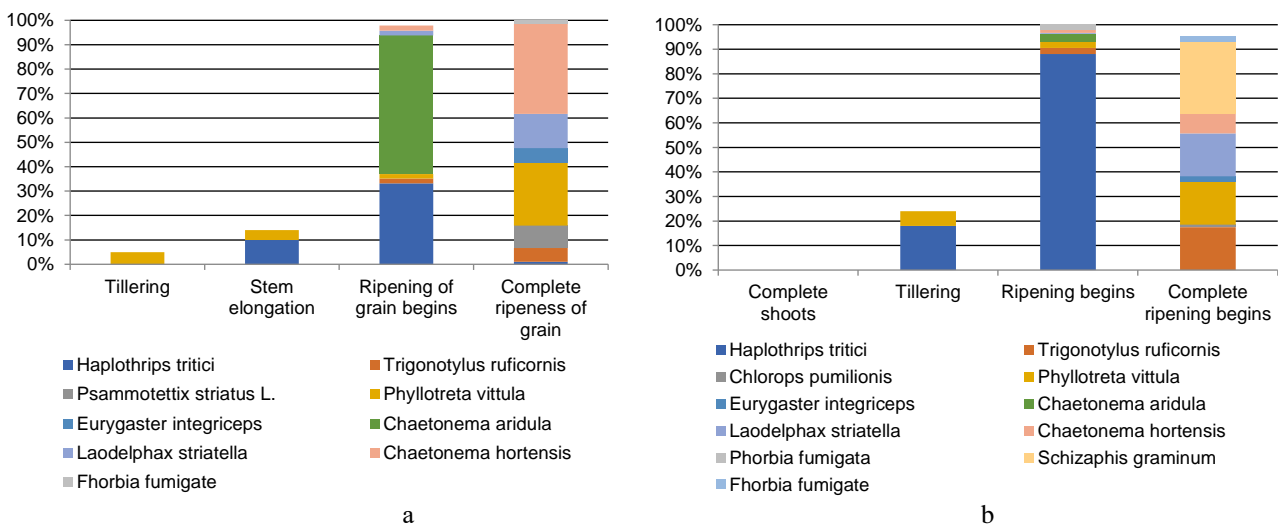


Figure 1. Results of spring wheat phytophages collection using an entomological net (Zhelezin District, field No. 17): preceding crop – complete fallow (a); field No. 35: preceding crop – spring wheat (b). The ordinate axis is the number of insects, and the abscissa axis is the development stage

Damage to the ear and foliage by wheat thrips (*Haplothrips tritici*) (15–20%) and grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (10%, 2 points) was also observed during the milky ripeness stage. Thrips are found on the plant (3–4 species per 1 ear). Grain pests outnumber other insect groups by more than four times (51.8%), with grain flea beetles (*Phyllotreta vittula*) accounting for 73.8% of this total.

At full maturity, the height of plants varied from 30 to 37 cm, spike size averaged 4–5 cm, the grain was small and incomplete. Wheat thrips larvae (*Haplothrips tritici*) (8 species per 1 ear) and wheat aphids (*Schizaphis graminum*) (7–8 species per 1 ear) infested crops at the dough stage. Wheat aphids (*Schizaphis graminum*) (39.2%), leaf bugs (*Trigonotylus ruficornis*) (25.6%), leafhoppers (*Psammotettix striatus L.*) (14.4%), grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (18.4%) were also observed in the crops; the other species were found in single specimens.

In the early stages of crop vegetation, a low number of phytophages were detected in field No. 68, but at the beginning of the tillering phase, damage to leaves by flea beetles was seen up to 10% (2 points), while wheat thrips and grain flea beetles were found in small quantities.

In the beginning of the stem elongation phase, a small number of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) imagoes (about 2–3 pieces per 1 stem) were found.

The heading phase is characterized by the prevalence of grain pests in contrast to other groups of in-

sects (96.7%), with the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) accounting for 36.2% and wheat thrips (*Haplothrips tritici*) accounting for 56.5%.

Several plants were in the dough stage during the grain's full maturity period. The plant height was 52–60 cm, the ear length was 6.5–7 cm, the grain was medium-sized, and the field was heavily clogged with sunflowers. There was a decrease in the number of grain phytophages to 61.7% of the total number of studied insects and an increase in the number of entomophages to 26.9%, including *Coccinellidae* and *Miridae*, each accounting for 47%. Leaf bug (*Trigonotylus ruficornis*) amounted to 10.3%, wheat thrips (*Haplothrips tritici*) to 39.5% and wheat aphid (*Schizaphis graminum*) to 5.9%; they fed on plants and green parts of wheat.

Figure 2 reveals information on the results of collecting phytophages of spring wheat by stages of crop vegetation and several preceding crops in the Uspen District.

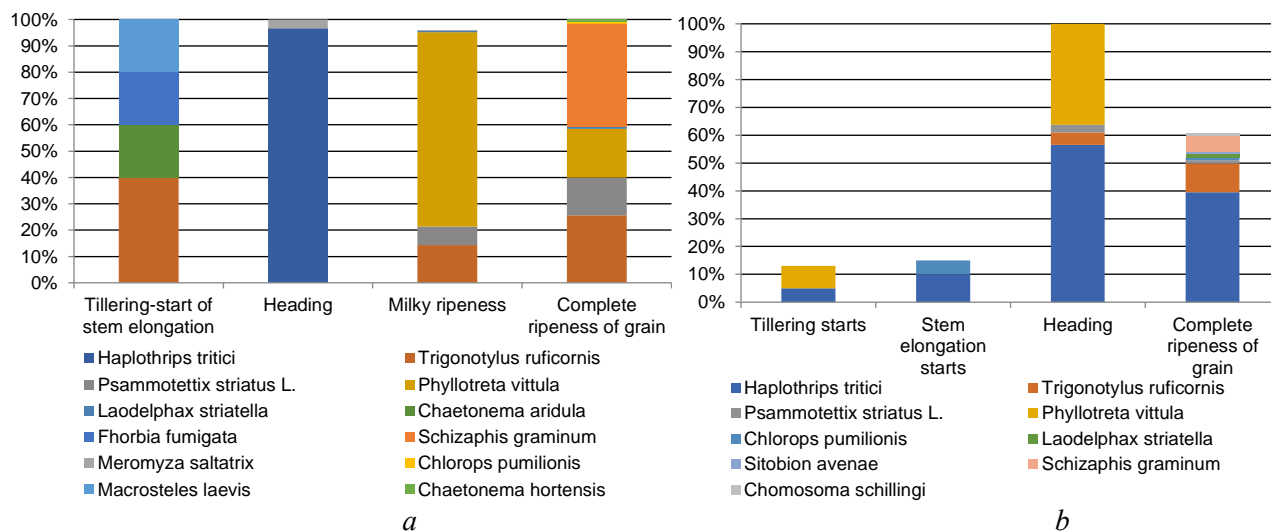


Figure 2. Results of spring wheat phytophages collection using an entomological net (Uspen District, field No. 56): preceding crop – spring wheat (a); field No. 68: preceding crop – complete fallow (b). The ordinate axis is the number of insects, and the abscissa axis is the development stage

Tillering was observed in the Ertis District (field No. 37) during May's third decade, when the leaves were severely damaged by the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (up to 50%, 3 points). On May 20, the crops were sprayed with Fobos insecticide (active ingredient: alpha-cypermethrin, 200 g/l), which has a protective activity period of 1–3 weeks; no visible pests were noticed at the time of observation.

The third decade of June was defined by the heading phase. Imagoes of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) were observed in the axils of the leaves (2–4 species per 1 stem).

The grain-filling phase was determined in the second ten days of July, with plant damage caused by wheat thrips (*Haplothrips tritici*) and grain flea beetles (*Phyllotreta vittula*). High temperatures and low air humidity cause plant leaves to turn yellow. The grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*), which made up a large portion of the 92.7% rise in grain pests, was observed.

Full maturity of the grain was noted in the second ten days of August. Plants' height varied from 10 to 30 cm, ear size averaged 6 cm, the grain was small, and plants were completely dry. The number of grain pests decreased significantly to 23%, but the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) remained dominant among them (54%).

At the beginning of the germination phase (field No. 53), grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) (7 species per 1 m²) was observed, and due to the early stage of crop development, pest infestation of crops had not occurred.

At the end of tillering and the beginning of stem elongation, leaves with up to 5% (1 point) flea beetle damage were noted. Wheat thrips (*Haplothrips tritici*) were discovered in amounts ranging from 2 to 7 species per 1 stem. Chemical treatment with an insecticide was performed on June 25, 2022, resulting in a low number of grain pests.

The number of grain pests was highest for all time during the milky ripeness stage (83.5%); there was also an increase in the number of meadow moths up to 11.6%.

At the full-ripe stage, plant height varied from 60 to 76 cm, ear length was 6.0–7.5 cm, the grain was medium-sized; there are thrips larvae in the ear 5–10 species per 1 ear (on plants at the middle dough stage or lagging in development). The number of grain pests declined significantly to 9.6%, with leaf bugs (*Trigonotylus ruficornis*) and leafhoppers (*Psammotettix striatus*) dominating among them. There was also an increase in entomophages up to 21%, of which 97% were coccinellids (*Coccinellidae*). Since the preceding crop was oilseed flax, which led to the accumulation of its specialized pests on the field, a considerable number of flax flea beetles (*Aphthona euphorbiae*) (51% of the total number of insects) were also detected.

Figure 3 illustrates the results of collecting phytophages of spring wheat by stages of crop vegetation and several preceding crops in the Ertis District.

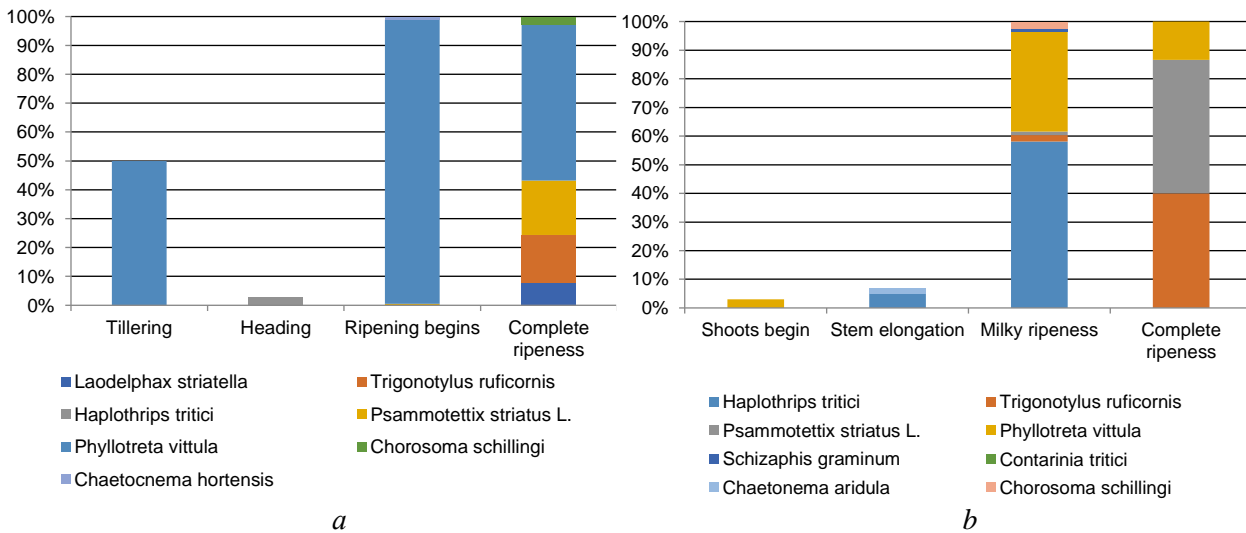


Figure 3. Results of spring wheat phytophages collection using an entomological net (Ertis District, field No. 37): preceding crop – spring wheat (a); field No. 53: preceding crop – oilseed flax (b). The ordinate axis is the number of insects, and the abscissa axis is the development stage

Analysis of phytomonitoring demonstrated dominance of wheat thrips (*Haplothrips tritici*) in all studied fields with spring wheat. The vegetation period of 2022 represented high air temperatures in spring and summer: in May maximum air temperature reached 35–38°C without rainfall; the number of days with relative humidity below 30% was 7–9 days; all this indicates that May characterized as an arid month. In June, the peak of air temperature reached 34–36°C, rainfall was registered only in the second half of June. Thereby, lack of moisture resulted in decrease of plant turgor and resistance to damage, which contributed to active reproduction and development of thrips in wheat crops.

Determining the correlation between air temperature during the growing season and number of phytophages demonstrated that the values of correlation coefficients are quite high. This indicates a very strong direct relationship between these indicators; for Zhelezin District the correlation coefficient is $r = 0.92 \pm 0.25$, for Uspen District $r = 0.84 \pm 0.30$, and for Ertis District $r = 0.87 \pm 0.35$, respectively, indicating that temperature rise contributes to an increase in the number of pests, as seen in the example of wheat thrips. Determining the correlation coefficient between the amount of rainfall and number of phytophages demonstrated that there is a strong inverse connection between these indicators, so on Zhelezin District $r = -0.75 \pm 0.45$, on Uspen District $r = -0.84 \pm 0.30$, on Ertis District moderate correlation $r = -0.75 \pm 0.30$, that is, lack of moisture results in an increase in the number of phytophages and vice versa. These correlation relationships are statistically significant ($p < 0.05$), since the criteria for the significance of correlation coefficients exceed the values of the Student's t-test.

However, Ivantsova E.A., in the period of the Lower Volga region conditions' investigations, argues that dry hot weather in summer contributes to an increase in the number of wheat thrips in the current year, but accelerated development of wheat shortens the duration of larval feeding and dooms them to death in winter, so their number drops the following year [13]. Saratov Agrarian University's researchers discovered that increasing rainfall to 10–15 mm reduced the quantity of wheat thrips by two times [14].

Wheat thrips (*Haplothrips tritici*) in wheat crops demonstrate phenological adaptation, which means that their life cycles are closely associated with crop development stages. The first plant feeders' imagoes

can be seen during the stem elongation phase in field No. 17 (Zhelezin District: up to 2–7 species per 1 stem), while the most thrips were found during the heading phase in field No. 56 (Uspen District: up to 10–15 species per 1 ear), since the crop in this phase is most suitable for species reproduction. Adult insects accumulate at the leaf base, feeding on plant sap, and these results in the appearance of whitish spots in the feeding places.

Larvae begin to hatch with the progress of flowering and grain-forming phases. Young larvae begin feeding in the flowering part of the spikelet under the flower scales. The choice of feeding site is not random; there is a flow of organic compounds that produce caryopses in the blossoming area. The larvae's feeding intensity increases in the course of grain filling and milky ripeness phase progression. During this time, lipids and proteins in the aleurone layer are emulsified and accessible to the larvae. In the period of dough maturity, when the process of converting organic substances into reserve substances begins, some of the larvae stop feeding and leave the ear. In the case of larvae feeding, damaged flowers die off, so the spike develops through grains, resulting in lower yield (weight of damaged grains declines from 1 to 14%) and lower quality of seeds (laboratory germination rate falls from 98 to 72%). It was established that their harmfulness is 1.71 mg of yield per year from the feeding of one species [15].

Damage to wheat plants by the grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) was also observed in early development (particularly in field No. 37, Ertis District), which was related to early wheat sowing (May 6). In the conditions of North-East Kazakhstan, early wheat sprouts appear at the same time as a large number of beetles emerge from their winter hibernation and begin to infest the crop. The beetles initially damaged leaf tips and then the entire leaf plate, causing the leaves to dry and fall, limiting their assimilation surface and crop productivity. Crops were formed partly thinned and not aligned in height, resulting in a lack of grain output. Furthermore, damaged plants become susceptible to disease and less resistant to grain fly damage. The degree of damage to plants depends on the location of crops; the closer they are to the pest's habitat, the more severe the damage. Insects frequently overwinter under plant residues that remain on the fields after harvesting (without plowing), and this causes an accumulation of insects in the fields. The most dangerous grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) develops in years with early spring droughts, which were common during the 2022 growing season.

Timoshenkova T.A., in the steppe conditions of the Orenburg region, established that the weather conditions identify the predominance and harmfulness of the grain flea beetles at the sprouting and tillering phases. Low-temperature background contributed to a decrease in the prevalence of the flea almost twice compared with the years with hotter weather during this period [16].

The quantity of large stem flea beetles (*Chaetonema aridula*) was low by regions as a whole; only in field No. 17 in Zhelezin District their number at the grain filling stage was 56.8%, which was explained by proximity to the fields of forest patches and glades, places of flea overwintering. Stage of spring wheat growth during which stem flea beetles cause major damage: tillering, stem elongation, and heading stages. Since larvae-damaged stems do not form ears, the plants cease growing, thereby reducing production. Damage during ear emergence causes white spike and lodging of stems. Plant damage is uncommon in the later stages of wheat development and does not significantly lower yield. Plant damage is uncommon in the later stages of wheat development and does not significantly reduce yield [17]. The severity of damage caused by stem flea rises in dry years with warm early springs because imagoes leave their wintering places earlier and fly to wheat seedlings.

Grain bug (*Trigonotylus ruficornis*) was found in great numbers in spring wheat fields because of its plasticity. It was harmful during the whole crop's vegetation period; typical damage includes discoloration of the bug's puncture sites as it sucks out the plant cell sap, resulting in a reduction of assimilating tissue and deformation of grain. Bugs are more dangerous in dry years when wheat crops are impacted by a lack of moisture and high air temperatures. Weather conditions of May and summer months of 2022 in the region as a whole were characterized by high temperatures and a lack of precipitation during the wheat vegetation period. This increased the number of grain bugs, which was highest during the period of grain ripening.

Wheat crops are greatly endangered by wheat aphids, which can quickly colonise leaves and ears with multiple colonies, feed on cell sap, and drastically reduce grain yield. Wheat aphids (*Schizaphis graminum*) were found in wheat crops during the observation period. It is a non-migratory species that develops solely on the leaves of cereal crops without changing feeding plants. Aphids are more dangerous in dry years (with low air humidity) because plants' turgor and resistance to damage are weakened due to a lack of moisture. In the Uspen District, the number of aphids increased from the heading phase to the full ripeness of the grain in

July-August as a result of the weather conditions of 2022's growing season. During this period the aphids fed on underdeveloped plants.

Leafhoppers (*Psammotettix striatus* L.) are trophically closely related to cereal vegetation. Their numbers increase in the first half of summer, during the period of wheat tillering and stem elongation; the quantity of leafhoppers also rises in the course of grain formation and ripening. Both adults and larvae cause damage by feeding on the cell sap of leaves and stems; whitish spots form at bite locations, giving the affected organs a marble colour.

Examination of the biometric indicators of wheat and crop condition revealed that the plants in the stage of full maturity of the "Triso" wheat variety in both Uspen (No. 56) and Ertis Districts (No. 37) were under-sized, with small spikes and puny grain. On the other hand, other varieties had better indicators in terms of plant biometry and grain weight.

We believe this is more related to crop timing because the "Triso" variety was sown earlier, when there was enough moisture in the soil following snowmelt, which is the key limiting factor in our region (April 30 to May 6). However, May was characterized by higher air temperatures and lack of rainfall, which led to slower growth of the crop, poor bushiness, and formation of a weak secondary root system, which subsequently affected the productivity of wheat.

"Triso" variety is also characterized by slow growth after the sprouts emergence, reduced assimilation abilities of the root system, thinning of seedlings because of moisture lack in the upper soil layer, the possibility of severe damage by *Oscinella* fly, wireworms, and flea beetles. All these factors could also contribute to a drop in crop productivity in unfavourable conditions of the vegetation season.

There are recommendations on the timing of sowing spring wheat at various locations in the Pavlodar region that boost potential productivity and prevent phytophage damage.

The remaining wheat varieties were sown from 15 to 24 May in the optimal conditions, recommended by scientific institutions. Thereby, the most vulnerable stages got under the summer maximum of rainfall, typical for the third ten days of June in the North-East of Kazakhstan, which allowed the crop to develop optimally.

"Likamero" variety is distinguished by the rapid plant development in the early phases of growth, plenty of kernels, and mass of thousands of seeds, well tolerates early spring frosts, but is susceptible to fungal diseases. In the conditions of the region with a lack of moisture in the soil, the main point in growing this variety is the timely implementation of fieldwork targeted at the accumulation and rational use of soil moisture.

In the conditions of Zhelezin District, plants of the "Uralosibirskaya" variety (field No. 35) formed a good stem and optimal parameters of grain quality, which appear to be related to the variety's strong adaptability to the region's adverse weather conditions. Wheat thrips and wheat flies (*Fhorbia fumigate*, *Chlorops pumilionis*) were found in larger numbers in this variety's crops. The fact that the wheat was planted directly on the wheat stubble background from the previous year enables us to explain it. Due to the wintering of these species in the root and plant residues of plants, in the vegetation year, there was an increase in their population according to the preceding crops, in comparison with the complete fallow preceding crop in field No. 17 (Zhelezin District).

At the same time, the opposite picture was observed in the Uspen District: in field No. 68 in crops of "Omskaya 35" wheat with the complete fallow preceding crop more intense invasion of phytophages was determined, although there were few crop residues and straw on the field, besides, the last main tillage was done at greater depth, which worsens conditions of wintering for thrips than in the field No. 56, where insects can overwinter in straw and stubble additionally. This might be a result of the fact that plants grown in complete fallow have a large aboveground mass, and they are more attractive to insects because of the favourable conditions generated by this preceding crop.

"Kazakhstanskaya 15" variety was brought out by local breeders and well adapted to the adverse soil and climatic circumstances of the region, which allows for an optimal sowing period to obtain a good harvest of high-quality grain. In general, according to the preceding oilseed flax, a considerable overabundance of grain phytophages was not registered by stages of crop growth (field No. 53, Ertis District).

Conclusions

The analysis of the vegetation season's meteorological conditions, sowing time, and preceding crop revealed that all this had a great impact on species composition and the number of spring wheat pests in crops of foreign and Kazakh breeding. Early sowing of the "Trizo" variety resulted in high temperatures and a lack

of moisture in the soil during the initial stages of development, which slowed the plants' growth and made them more susceptible to pest attacks. Furthermore, during early sowing, grain flea beetles (*Phyllotreta vittula*) were characterized by a massive emergence from wintering grounds and attacks on sensitive plants. The following factors should be considered when choosing the sowing time: the correlation between the wheat development phase and the period when phytophage activity and abundance are at their peak; the age of the damaged plant, which determines the type of damage, and the formation of tissues that hinder pest penetration.

The climatic circumstances of 2022's growing season primarily affected the domination of specific types of pests, for which the dry conditions of the vegetation period were favourable for reproduction and feeding. For example, the main pest in wheat crops of different varieties, starting from stem elongation until milky maturity, was wheat thrips (*Haplothrips tritici*). It is defined by trophic and phenological attachment to the crop (the phytophage's primary feeding source).

Since there is no information on the phytosanitary situation in wheat agrocenoses of the North-East of Kazakhstan, the data obtained contribute significantly to the study of insect complexes inhabiting the crops and provide comparative data for similar investigations in other areas.

Data on the main phytophages of the crop in the region and their harmfulness during vulnerable phases of wheat vegetation will help to organize protective measures purposefully and apply more effective agrotechnological techniques in cultivation technology, considering the number of a particular species. It will help to reduce the number of phytophages during the most dangerous periods of crop development.

Acknowledgements

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09058450 “Development of an ecological system of phytosanitary control of destructive biota (phytophages and phytopathogens) of spring wheat in the North-East of Kazakhstan”).

References

- 1 Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://stat.gov.kz>
- 2 Тимофеев В.Н. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы в условиях Северного Зауралья / В.Н. Тимофеев, Н.В. Перфильев // Земледелие. — 2016. — № 2. — С. 18–22.
- 3 Fanadzo M. Application of Conservation Agriculture Principles for the Management of Field Crops Pests / M. Fanadzo, M. Dalicuba, E. Dube // Sustainable Agriculture Reviews. — 2018. — Vol. 28. — P. 125–152. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_4
- 4 Rezaei M. Insect Pest Management for Healthy Seed Production / M. Rezaei, A.A. Talebi // Advances in Seed Production and Management. — 2020. — P. 211–269. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_11
- 5 Gaur N. Pests of Wheat / N. Gaur, S. Mogalapu // Pests and Their Management. — 2018. — P. 81–97. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_4.
- 6 Sharma S. Insect Pests and Crop Losses / S. Sharma, R. Kooner, R. Arora // Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture. — 2017. — P. 45–66. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2.
- 7 Скороходов В.Ю. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением / В.Ю. Скороходов, А.А. Зоров // Российская сельскохозяйственная наука. — 2021. — № 5. — С. 3–8. <https://doi.org/10.31857/S250026272105001X>.
- 8 Справочник по защите растений / под ред. А.О. Сагитова, Ж.Д. Исмухамбетова. — Алматы: РОНД, 2004. — 320 с.
- 9 Ali S.A. Climate Variability Impact on Wheat Production in Europe: Adaptation and Mitigation Strategies / S.A. Ali, L. Tedone, G.De. Mastro // Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability. — 2017. — P. 251–321. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32059-5_12
- 10 Агроклиматический справочник по Павлодарской области / под ред. Н.Ф. Самохвалова. — Л.: Гидрометеиздат, 1958. — 210 с.
- 11 Поляков И.Я. Прогноз развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур / И.Я. Поляков, М.П. Персов, В.А. Смирнов. — Л.: Колос, 1984. — 318 с.
- 12 Москвичев А.Ю. Фитосанитарный контроль растений: учеб. пос. / А.Ю. Москвичев, Т.Л. Карпова, Т.В. Константинова, И.А. Корженко, А.С. Межевова. — Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015. — 132 с.
- 13 Иванцова Е.А. Биология развития и вредоносность пшеничного трипса (*Haplothrips tritici* kurd) в Нижнем Поволжье / Е.А. Иванцова // Изв. Нижневолж. агроун-го комплекса. — 2007. — № 1(5). — 4 с.
- 14 Чекмарева Л.И. Фитофаги в агроценозе яровой пшеницы Саратовского Поволжья / Л.И. Чекмарева, С.И. Лихацкая // Нива Поволжья. — 2009. — № 2 (11). — С. 27–31.

15 Toleubayev K. Commodification of science and the production of public goods: Plant protection research in Kazakhstan / K. Toleubayev, K. Jansen, A. Huis // Research Policy. — 2010. — No. 39. — P. 411–421. — Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.002>.

16 Тимошенкова Т.А. Оценка селекционного материала яровой твердой пшеницы на устойчивость к вредителям в степи Оренбургской области / Т.А. Тимошенкова // Бюлл. Оренбург. науч. центра УрО РАН. — 2018. — № 4. — 8 с.

17 Фисечко Р.Н. Влияние сортов и азотного удобрения на популяции хлебных стеблевых блошек в агроценозах яровой пшеницы в лесостепи Приобья / Р.Н. Фисечко // Сб. науч. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука — сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии». — Ч. 1. — 2014. — С. 145, 146.

Р.М. Уалиева

Қазақстанның солтүстік-шығысындағы түрлі агротехнологиялық әдістерді есепке алумен жаздық бидайдың агроценоздарындағы фитофагтардың мониторингі

Өсімдіктердің зиянкестердің әсеріне төзімділігін арттыру мақсатында мақалада Қазақстанның солтүстік-шығысы жағдайында шетелдік және қазақстандық селекцияның жаздық бидай сұрыптарын егудегі зиянкестердің саны мен түрлік алуандығына агротехникалық әдістердің (себу мерзімі және бұрынғы егісті таңдау) әсері туралы мәселелер қарастырылған. Зерттеулер 2022 жылы әртүрлі бұрынғы егілген егістер бойынша Қазақстанның солтүстік-шығыс аудандарының типтік ауыл шаруашылығы ұйымдарында жүргізілді. 2022 жылдың вегетациялық кезеңі ауа температурасының жоғарылауымен және көктем мен жазда топырақта ылғалдың болмауымен ерекшеленді де, бұл өсімдіктердегі тығыздықтың төмендеуіне және олардың зақымдануға төзімділігіне ықпал етті. Тризо бидай өсімдіктері ерте себу кезінде дамудың бастапқы кезеңінде жоғары температура мен топырақта ылғалдың жетіспеушілігіне тап болып, бұл олардың өсуін кешіктірді және зиянкестердің зақымдалуына бейім болды. Қалған сұрыптар аймақтың ғылыми мекемелері ұсынған оңтайлы мерзімде (15-24 мамыр) егілді, осылайша дақылдың ең осал кезеңдері Қазақстанның солтүстік-шығысында маусымның үшінші онкүндігіне тән жазғы жауын-шашынға ұшырады, бұл дақылдың қалыпты дамуына мүмкіндік берді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы мынада: фитомониторинг нәтижелері жергілікті топырақ-климаттық жағдайларды және фитофагтардың түрлік алуандылығын ескере отырып, қорғау шараларын тиімдірек жүргізуге және ауыл шаруашылығы дақылдарын өсірудің қолданбалы агротехнологиясын оңтайландыруға көмектеседі.

Кілт сөздер: фитофагтар, саны, түрлік құрамы, жаздық бидай, шетелдік және қазақстандық селекция сұрыптары, себу мерзімі, климаттық жағдайлары, бұрынғы егіс.

Р.М. Уалиева

Мониторинг фитофагов в агроценозах яровой пшеницы с учетом разных агротехнологических приемов в условиях Северо-Востока Казахстана

С целью повышения устойчивости растений к воздействию вредителей в статье рассмотрены вопросы влияния агротехнических приемов (срок посева и выбор предшественника) на численность и видовое разнообразие вредителей в посевах сортов яровой пшеницы иностранной и казахстанской селекции в условиях Северо-Востока Казахстана. Исследования проводились в 2022 году в типичных сельскохозяйственных организациях районов Северо-Востока Казахстана по разным предшественникам. Вегетационный период 2022 года отличался высокими температурами воздуха и недостатком влаги в почве в весенний и летний периоды, что способствовало снижению тургора у растений и их сопротивляемости к повреждениям. Растения пшеницы сорта «Тризо» при раннем сроке посева испытывали действие высоких температур и недостаток влаги в почве на начальном этапе развития, что привело к задержке их роста и сделало более восприимчивыми к повреждениям вредителями. Остальные сорта высевались в оптимально рекомендованные научными учреждениями региона сроки (15–24 мая), тем самым наиболее уязвимые фазы культуры попали под летний максимум осадков, характерный для третьей декады июня в условиях Северо-Востока Казахстана, что позволило культуре нормально развиваться. Практическая значимость работы состоит в том, что результаты фитомониторинга помогут эффективнее проводить защитные мероприятия и оптимизируют применяемую агротехнику выращивания культуры с учетом местных почвенно-климатических условий и видового разнообразия фитофагов.

Ключевые слова: фитофаги, численность, видовой состав, яровая пшеница, сорта иностранной и казахстанской селекции, срок посева, климатические условия, предшественник.

References

- 1 Biuro natsionalnoi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniu i reformam Respubliki Kazakhstan [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan]. Retrieved from <https://stat.gov.kz> [in Russian].
- 2 Timofeev, V.N. & Perfiliev, N.V. (2016). Fitosanitarnoe sostoianie posevov yarovoi pshenitsy v zavisimosti ot sistemy obrabotki pochvy v usloviakh Severnogo Zauralia [Phytopsanitary state of spring wheat crops depending on the tillage system in the conditions of the Northern Trans-Urals]. *Zemledelie — Agriculture*, 2, 18–22 [in Russian].
- 3 Fanadzo, M., Dalicuba, M., & Dube, E. (2018). Application of Conservation Agriculture Principles for the Management of Field Crops Pests. *Sustainable Agriculture Reviews*, 28, 125–152. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_4
- 4 Rezaei, M. & Talebi, A.A. (2020). Insect Pest Management for Healthy Seed Production. *Advances in Seed Production and Management*, 211-269. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_11.
- 5 Gaur, N. & Mogalapu, S. (2018). Pests of Wheat. *Pests and Their Management*, 81–97. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_4
- 6 Sharma, S., Kooner, R., & Arora, R. (2017). Insect Pests and Crop Losses. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*, 45–66. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2.
- 7 Skorokhodov, V.Yu. & Zorov, A.A. (2021). Osobennosti vliianiia parovogo polia na formirovanie agrotsenoza i produktivnost yarovoi pshenitsy v polevykh sevooborotakh regiona s neustoichivym uvlazhneniem [Features of the influence of the fallow field on the formation of agrocenosis and the productivity of spring wheat in field crop rotations in a region with unstable moisture]. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka — Russian agricultural science*, 5, 3–8. Retrieved from <https://doi.org/10.31857/S250026272105001X> [in Russian].
- 8 Sagitova, A.O. & Ismukhambetova, Zh.D. (2004). *Spravochnik po zashchite rastenii [Plant Protection Handbook]*. Almaty: ROND [in Russian].
- 9 Ali, S.A., Tedone, L., & Mastro, G.De. (2017). Climate Variability Impact on Wheat Production in Europe: Adaptation and Mitigation Strategies. *Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability*, 251–321. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32059-5_12
- 10 Samokhvalov, N.F. (1958). *Agroklimaticheskii spravochnik po Pavlodarskoi oblasti [Agroclimatic guide for Pavlodar region]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- 11 Polyakov, I.Ya., Persov, M.P., & Smirnov, V.A. (1984). *Prognoz razvitiia vreditelei i boleznei selskokhoziaistvennykh kultur [Forecast of the development of pests and diseases of agricultural crops]*. Leningrad: Kolos [in Russian].
- 12 Moskvichev, A.Yu., Karpova, T.L., Konstantinova, T.V., Korzhenko, I.A., & Mezhevova, A.S. (2015). *Fitosanitarnyi kontrol rastenii [Phytopsanitary control of plants]*. Volgograd [in Russian].
- 13 Ivantsova, E.A. (2007). Biologiya razvitiia i vredonosnost pshenichnogo tripsa (*Haplothris tritici kurd*) v Nizhnem Povolzhe [Developmental biology and harmfulness of wheat thrips (*Haplothris tritici kurd*) in the Lower Volga region]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa — Bulletin of Nizhny Novgorod Agro-University complex*, 1(5), 4 [in Russian].
- 14 Chekmareva, L.I. & Likhatskaya, S.I. (2009). Fitofagi v agrotsenoze yarovoi pshenitsy Saratovskogo Povolzhia [Phytophages in the agrocenosis of spring wheat in the Saratov Volga region]. *Niva Povolzhia — Niva of Povolgian region*, 2(11), 27–31 [in Russian].
- 15 Toledbayev, K., Jansen, K., & Huis, A. (2010). Commodification of science and the production of public goods: Plant protection research in Kazakhstan. *Research Policy*, 39, 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.002>.
- 16 Timoshenkova, T.A. (2018). Otsenka selektsionnogo materiala yarovoi tverdoi pshenitsy na ustoichivost k vrediteliam v stepi Orenburgskoi oblasti [Evaluation of the breeding material of spring durum wheat for resistance to pests in the steppe of the Orenburg region]. *Bulleten Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN — Bulletin of Orenburg Scientific centre of Ural Department RAN*, 4, 8 [in Russian].
- 17 Fisechko, R.N. (2014). Vliianie sortov i azotnogo udobreniia na populiatsii khlebnnykh steblevykh bloshek v agrotsenozakh yarovoi pshenitsy v lesostepi Priob'ia [Influence of varieties and nitrogen fertilizer on the populations of corn fleas in spring wheat agrocenoses in the forest-steppe of the Ob region]. *Sbornik nauchnykh dokladov XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Agrarnaia nauka — selskokhoziaistvennomu proizvodstvu Sibiri, Mongolii, Kazakhstana i Bolgarii» — Book of abstracts of XVII International scientific-practical conference “Agrarian science — to agrarian production of Siberia, Mongolia Kazakhstan and Bulgaria”*, 1, 145, 146 [in Russian].

Information about authors

Ualiyeva, Rimma Meyramovna — PhD, Professor of Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; ualiyeva.r@gmail.com.

М.Г. Лежнина¹, М.В. Белоусов², М.А. Ханина^{1*}, Е.А. Подолина³,
Н.М. Потемкина¹, А.П. Родин¹

¹ Государственный гуманитарно-технологический университет, Орехово-Зуево, Россия;

² Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия;

³ Филиал Московского политехнического университета, Электросталь, Россия

*Автор для корреспонденции: khanina06@mail.ru

Закономерности в распределении химических элементов в листьях березы

Биологическая активность лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов обусловлена комплексом биологически активных веществ и химических элементов. Исследование влияния условий прирастания на состав, содержание химических элементов в лекарственных растениях, лекарственном растительном сырье является актуальным. Особый интерес вызывает исследование закономерностей в распределении химических элементов в лекарственных растениях, лекарственном растительном сырье и возможность использования выявленных закономерностей для установления подлинности и чистоты сырья. Объект нашего исследования — листья березы, собранные в экологически чистой зоне и в зонах с различной степенью антропогенной нагрузки. Состав и содержание элементов анализировали методом ИСП–МС (масс-спектрометр ELAN DRC-e ICP-MS, оптико-эмиссионный спектрометр Agilent 715 ICP-OES). Статистическая обработка результатов химического анализа проведена в программе Microsoft® Excel 2010. Сопоставление концентраций 60 элементов проводили с применением метода наименьших квадратов. Сравнительный анализ логарифмов концентраций в листьях березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки, показал сильную корреляционную связь между ними ($r=0,99$; $R^2=0,9$). Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности и чистоты.

Ключевые слова: химические элементы, листья березы, ИСП–МС, элементный профиль, подлинность, чистота.

Введение

Листья березы (*Betulae folia*) — официальное сырье, является фармакопейным [1]; применяется самостоятельно или в составе сборов, как мочегонное и противовоспалительное средство [2].

Биологическая активность лекарственных форм, получаемых из лекарственного растительного сырья, обусловлена наличием биологически активных веществ и химических элементов [3, 4]. Ранее проведенные исследования состава и содержания элементов в листьях березы, собранных в экологически чистой зоне и в зонах с различной степенью антропогенной нагрузки, показали, что в образцах листьев, подвергнутых сочетанному воздействию загрязняющих факторов в течение продолжительного времени, наблюдаются наибольшие отклонения от нормы (если за норму принять состав и содержание элементов в листьях, собранных в экологически чистой зоне) [5].

В последнее время уделяется большое внимание выявлению закономерностей в распространении химических элементов в лекарственных растениях [6, 7].

При сравнительном исследовании распределения элементов в морфологических частях растений, их сырья и экстракционных фитопрепаратов, получаемых из них, выявлено, что диаграммы, от-

ражающие периодические зависимости концентраций химических элементов (выраженные в логарифмической шкале) в них могут использоваться в качестве элементных профилей («отпечатков пальцев»). Элементные профили лекарственных растений, сырья и фитопрепаратов можно использовать для определения их подлинности [8, 9]. Возникает вопрос: «Возможно ли использовать элементные профили сырья для определения его чистоты?». В связи с изложенным выше целью настоящей работы было выявление закономерностей распределения химических элементов в листьях березы в зависимости от условий произрастания, а также определение возможности их использования для установления их подлинности и чистоты.

Материалы и методы

Объекты исследования — листья березы, собранные с деревьев, произрастающих в окрестностях крупного города (г. Новосибирск), из разных мест произрастания: экологически чистой зоны и зон, различающихся по степени антропогенной нагрузки (выхлопные газы автотранспорта, световое загрязнение, совмещение указанных факторов, выбросы промышленного предприятия) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристика образцов листьев березы, взятых для исследования

№ п/п	Место сбора, дата заготовки
1	Новосибирская область, окрестности п. Пашино (экологически чистая зона); 22.06.12 г.
2	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы листьев собраны возле фонарей освещения (выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение); 29.11.12 г.
3	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы собраны возле фонарей уличного освещения (выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение); 31.05.12 г.
4	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы собраны с противоположной стороны от фонарей уличного освещения (выхлопные газы автотранспорта); 31.05.12 г.
5	Окрестности г. Новосибирска, промышленная площадка предприятия (загрязнение промышленными выбросами); 03.06.12 г.

Листья на момент сбора образцов для исследований (в конце мая и начале июня) вполне сформировавшиеся, без дефектов. Листья, собранные с деревьев, произрастающих вблизи фонарей уличного освещения, поздней осенью — 29 ноября, также были без дефектов и не потеряли своей зеленой окраски. Свежесобранные образцы листьев сушились естественной сушкой до воздушно сухого состояния. Сырье заложено на хранение в бумажные мешки.

Состав и содержание элементов в исследуемых образцах анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–МС) на масс-спектрометре ELAN DRC-e ICP-MS и оптико-эмиссионном спектрометре Agilent 715 ICP-OES. Анализ проводили в ООО «ХАЦ "Плазма"» (г. Томск). Метод ИСП–МС для количественного анализа химических элементов в растительных объектах характеризуется высокой чувствительностью и возможностью определения одновременно более 60 элементов (с низкими пределами обнаружения и широким диапазоном концентраций до 8–9 порядков) при анализе одной пробы.

Градуировочные графики построены по государственным стандартным образцам, что обеспечивает точность и правильность данного анализа. Используемые аналитические методики разработаны в ООО «ХАЦ "Плазма"» и аттестованы согласно ГОСТ Р 8.563–96 «ГСИ. Методики выполнения измерений» и аккредитованы метрологической службой ФГУП «УНИИМ». Погрешности установленных концентраций элементов соответствуют методике НСАМ № 512–МС (ред. 2017 г.) «Определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами анализа», аттестованной метрологической службой ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» в соответствии с ГОСТ Р 8.563–2009 г. Пробоподготовка образцов для анализа включала обработку навески измельченного растительного образца азотной кислотой с дальнейшим разложением в микроволновых системах Speedwave TM MWS-3+ и BERGHOF.

Статистическую обработку полученных результатов химического анализа осуществляли в программе Microsoft® Excel 2010 с вычислением погрешностей косвенных измерений на основе опорных значений концентраций элементов и их погрешностей. Сопоставление концентраций 60 элементов проводили с использованием метода наименьших квадратов.

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа показали наличие 60 химических элементов во всех объектах исследования. Элементы H, He, C, N, O, F, Cl, Ne, Ar, Kr, Xe методом МС–ИСП не определяются. По составу элементов объекты различий не имеют, различие наблюдается в их содержании. Во всех объектах обнаружены жизненно важные элементы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Содержание элементов в листьях березы в зависимости от места произрастания (в мкг/г) ($P \geq 0,95$, $n=5$)

Элемент	Объекты исследования					Элемент	Объекты исследования				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Li*	0,09	0,3452	0,1093	0,096	0,1089	Cd**	0,468	0,0675	0,0625	0,0668	0,071
Be	0,0036	0,0069	0,0218	0,00718	0,0109	Sn	0,43	0,11	0,87	1,07	0,64
B	18,59	54,85	30,89	25,97	23,87	Sb	0,058	0,18	0,082	0,065	0,37
Na*	50,95	74,89	61,05	65,79	57,02	I*	0,0669	0,21	0,0545	0,040	0,0401
Mg*	3740,9	4102,8	3162,3	3387,9	2747,7	Cs	0,022	0,023	0,038	0,038	0,032
Al*	171,03	197,97	215,97	239,79	218,04	Ba	128,79	37,09	23,59	19,391	48,369
P*	2915,1	2071,9	2536,8	2706,8	2389,9	La	0,066	0,12	0,096	0,13	0,11
K*	14612,7	6621,94	14281,8	14132,7	15231,8	Ce	0,12	0,23	0,18	0,21	0,19
Ca*	7520,79	24896,8	17519,8	16136,6	11086,8	Pr	0,015	0,026	0,02	0,026	0,022
Ti	8,81	12,93	13,83	15,93	14,98	Nd	0,058	0,102	0,082	0,094	0,087
V*	0,36	0,68	0,47	0,49	0,49	Sm	0,014	0,023	0,015	0,023	0,019
Cr*	3,81	3,639	3,76	3,9	3,98	Eu	0,0038	0,0034	0,0029	0,0039	0,0036
Mn*	1323	294	159	234	260	Gd	0,016	0,022	0,019	0,022	0,019
Fe*	171,87	223,9	229,9	242,89	240,65	Tb	0,0023	0,0032	0,00304	0,0032	0,0028
Co*	0,32	0,62	0,36	0,38	0,41	Dy	0,0094	0,016	0,013	0,017	0,013
Ni	3,97	1,86	3,96	5,59	3,84	Ho	0,0019	0,0042	0,0034	0,0037	0,0026
Cu*	7,21	4,05	9,37	9,77	9,2	Er	0,0046	0,0078	0,0091	0,0064	0,0078
Zn*	185	124	154	122	135	Tm	0,00079	0,0015	0,0018	0,0013	0,0014
Ga	0,091	0,065	0,06	0,077	0,068	Yb	0,0048	0,0072	0,0067	0,0068	0,0058
Ge	0,0066	0,005	0,006	0,009	0,0069	Lu	0,00098	0,0012	0,0014	0,0015	0,0013
As**	0,15	1,06	0,22	0,24	0,24	Hf	0,0051	0,0071	0,0078	0,0057	0,007
Se*	0,44	0,74	0,5	0,27	0,49	Ta	0,0028	0,0027	0,0023	0,0034	0,0025
Br*	2,17	6,42	1,83	2,08	2,04	W	0,0092	0,034	0,035	0,014	0,02
Rb	7,99	2,87	7,99	8,23	7,79	Au	0,059	0,07	0,049	0,042	0,067
Sr	25,6	52,2	40,4	38,3	39,2	Hg**	0,0033	0,0201	0,00701	0,00819	0,02589
Y	0,064	0,089	0,081	0,089	0,079	Tl	0,00298	0,0029	0,0017	0,0027	0,0026
Zr	0,27	0,42	0,48	0,53	0,47	Pb**	0,301	0,956	0,378	0,459	0,729
Nb	0,028	0,038	0,036	0,042	0,041	Bi	0,0052	0,0063	0,0032	0,0044	0,0058
Mo*	0,12	0,52	0,96	1,04	0,29	Th	0,02	0,029	0,029	0,026	0,027
Ag	0,012	0,01	0,0093	0,0082	0,0083	U	0,0083	0,024	0,015	0,017	0,019

Примечание. * — жизненно-важные элементы; ** — токсичные элементы.

При сравнительном анализе объектов исследования было выявлено, что суммарное содержание обнаруженных химических элементов в объектах исследования увеличивается в ряду (в мкг/г): № 1 (30902,9) > № 5 (32527,38) > № 4 (37405,66) > № 3 (38462,73) > № 2 (38792,47). Наименьший показатель суммарного содержания элементов установлен для объекта № 1, собранного в экологически чистой зоне, наибольший — для объекта № 2, собранного в зоне, где наблюдается сочетанное воздействие антропогенных факторов (газы автотранспорта+световое загрязнение, поздний сбор образцов). Влияние промышленных выбросов на элементный состав объекта № 5 оказалось слабее, чем воздействие выхлопных газов автотранспорта (объект № 4) и сочетанное воздействие выхлопных газов автотранспорта и светового загрязнения (объект № 3).

Надо отметить, что во всех объектах исследования, независимо от отсутствия или наличия факторов антропогенной нагрузки в местах их сбора, содержание токсичных элементов (As, Cd, Pb, Hg) не превышает норм, установленных для чаев и биологически активных добавок на растительной основе [10].

Для выявления закономерностей в распределении элементов в исследуемых объектах были построены ряды по убыванию их концентраций (табл. 3). Сравнительный анализ полученных рядов элементов показал, что наибольшая схожесть в последовательности элементов отмечается между объектами № 3–№ 5. Для объектов № 1 и № 2 выявлена наименьшая схожесть в рядах элементов между собой и с другими исследуемыми объектами.

Т а б л и ц а 3

Последовательность элементов в рядах, построенных по убыванию их концентраций в листьях березы в зависимости от места произрастания

Объекты	Ряды элементов по убыванию концентраций
1	K>Ca>Mg>P>Mn>Zn>Fe>Al>Ba>Na>Sr>B>Ti>Rb>Cu>Ni>Cr>Br>Cd>Se>Sn>V>Co>Pb>Zr>As>Mo
2	Ca>K>Mg>P>Mn>Fe>Al>Zn>Na>B>Sr>Ba>Ti>Br>Cu>Cr>Rb>Ni>As>Pb>Se>V>Co>Mo>Zr>Li>Ce>I
3	Ca>K>Mg>P>Fe>Al>Mn>Zn>Na>Sr>B>Ba>Ti>Cu>Rb>Ni>Cr>Br>Mo>Sn>Se>Zr>V>Pb>As>Ce>Li
4	Ca>K>Mg>P>Fe>Al>Mn>Zn>Na>Sr>B>Ba>Ti>Cu>Rb>Ni>Cr>Sn>Mo>Zr>V>Pb>Co>Se>As>Ce>La
5	K>Ca>Mg>P>Mn>Fe>Al>Zn>Na>Ba>Sr>B>Ti>Cu>Rb>Cr>Ni>Br>Pb>Sn>Se>Zr>V>Co>Sb>Mo>As

Поскольку содержание элементов в объектах исследования варьирует в значительных пределах (например, Ca — 24896,8 мкг/г; Lu — 0,00098 мкг/г), то для возможности дальнейшего сравнительного статистического анализа использовали десятичную логарифмическую шкалу для выражения их концентраций.

Для корреляционного анализа мы сопоставляли логарифмы (*lg*) концентраций элементов в исследуемых объектах попарно. При сопоставлении *lg* концентраций элементов в сравниваемых парах объектов наблюдается высокий коэффициент корреляции ($r=0,99$), что свидетельствует о положительной корреляции сравниваемых величин во всех парах (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Сопоставление концентраций элементов в парах исследуемых объектов

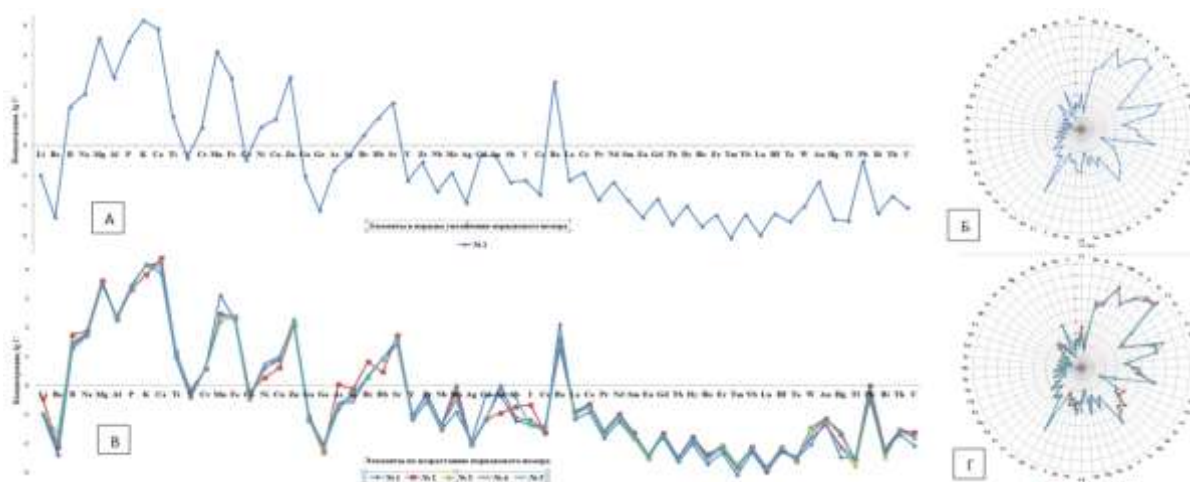
Сравниваемые образцы	r^*	R^{2**}
№ 1 - № 2	0,99	0,97
№ 1 - № 3	0,99	0,98
№ 1 - № 4	0,99	0,98
№ 1 - № 5	0,99	0,98
№ 2 - № 3	0,99	0,98
№ 2 - № 4	0,99	0,98
№ 2 - № 5	0,99	0,98
№ 3 - № 4	0,99	0,99
№ 3 - № 5	0,99	0,99
№ 4 - № 5	0,99	0,99

Примечание. * — в соответствии с логарифмической шкалой ($\log 10$); ** — рассчитано методом наименьших квадратов.

В дальнейшем, при сопоставлении концентраций элементов в сравниваемых парах исследуемых объектов методом наименьших квадратов (R^2) были подтверждены те закономерности, которые наблюдались ранее при сравнительном анализе рядов элементов, построенных по убыванию их концентраций. Наименьший коэффициент корреляции наблюдается при сопоставлении *lg* концентраций в паре объектов № 1 и № 2 ($R^2=0,97$), наибольший ($R^2=0,99$) — наблюдается в сравниваемых парах объектов — №3–№4, №3–№5 и №4–№5. Объекты № 1 (экологически чистая зона) и № 2 (сочетанное воздействие выхлопных газов автотранспорта, световое загрязнение, поздний сбор) имеют со всеми остальными объектами коэффициент корреляции $R^2=0,98$ (табл. 3).

Надо отметить, что между всеми парами исследуемых объектов наблюдается сильная корреляционная связь ($R^2 \geq 0,9$).

Для выявления закономерностей при анализе большого объема данных не последнюю роль выполняет их визуализация. При визуализации зависимости \lg концентраций химических элементов в исследуемых объектах от их порядкового номера получены диаграммы (линейные — А, В и круговые (лепестковые) — Б, Г), приведенные ниже на рисунке.



А, Б — образец № 1 (экологически чистая зона); В, Г — диаграммы всех исследуемых образцов

Рисунок. Периодическая зависимость логарифма концентраций химических элементов в листьях березы в зависимости от места сбора

Диаграмму, отражающую зависимость \lg концентраций элементов от порядкового их номера для объекта № 1, условно можно принять за эталон, поскольку данный объект собран в экологически чистой зоне (см. рис., А, Б). При построении диаграмм, отражающих периодическую зависимость в распределении элементов в них, для всех объектов исследования и последующем графическом и визуальном сравнительном анализе можно констатировать, что они практически совпадают (см. рис., В, Г). Данный факт подтверждают коэффициенты корреляции, полученные при сравнительном анализе \lg концентраций химических элементов попарно в объектах исследования ($r=0,99$; $R^2=0,9$).

Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности.

Однако надо отметить, что диаграмма объекта № 2 при общей схожести и совпадению по большинству элементов с диаграммами других объектов имеет ряд флуктуаций по отдельным элементам (As, Se, Br, Rb, Sn, Sb, I). Данный факт говорит о возможности использования диаграмм, отражающих зависимость логарифма концентраций химических элементов в исследуемых объектах от их порядкового номера для определения чистоты сырья.

Заключение

При сравнительном исследовании образцов листьев березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки (экологически чистая зона; выхлопные газы автотранспорта; выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение; выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение+поздний сбор; промышленные выбросы) обнаружено 60 химических элементов. По составу элементов объекты исследования не различаются, различие наблюдается в их содержании. Наименьший показатель суммарного содержания элементов установлен для образца листьев, собранных в экологически чистой зоне, наибольший — для образцов, собранных в зоне, где наблюдается сочетанное воздействие антропогенных факторов (газы автотранспорта+световое загрязнение, поздний сбор).

Сравнительный анализ логарифмов концентраций в листьях березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки, показал сильную корреляционную связь между ними ($r=0,99$; $R^2=0,9$).

Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности и чистоты.

Список литературы

- 1 Государственная фармакопея Российской Федерации. — XIV изд. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.ruscml.ru/feml/pharma/v14/vol14/>
- 2 Государственный реестр лекарственных средств. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://grls.minzdrav.gov.ru/Default.aspx>
- 3 Елизарьева Е.Н. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли / Е.Н. Елизарьева, Ю.А. Янбаев, Н.Н. Редькина, Н.В. Кудашкина, А.Г. Байков // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2017. — № 9 (209). — С. 8–13.
- 4 Фархутдинов Р.Г. Определение содержания йода в растениях Республики Башкортостан / Р.Г. Фархутдинов, Н.В. Кудашкина, С.Р. Хасанова, С.В. Трофимова // Растительные ресурсы. — 2013. — Т. 49. №1. — С. 139–146.
- 5 Ханина М.А. Элементный состав листьев березы в условиях антропогенной нагрузки / М.А. Ханина, Е.Н. Гусельникова, А.П. Родин, М.Г. Ханина // Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Орехово-Зуево: ГГТУ, 2017. — С. 250–258.
- 6 Павлов В.Е. Обобщенная модель распространенности ряда химических элементов в *Pentaphylloides fruticosa* / В.Е. Павлов, Е.П. Храмова, И.В. Хвостов, Г.А. Ковальская, К.П. Куценогий, О.В. Чанкина, Н.М. Ковалевская // Химия растительного сырья. — 2008. — № 3. — С. 163–168.
- 7 Ханина М.А. Элементы листьев и полисахаридов *Tilia cordata* Will / М.А. Ханина, М.Г. Лежнина, А.П. Родин, Н.М. Потемкина, Л.В. Смирнова // Actual problems of ecology: Materials of the XV International Scientific Practical Conference Орехово-Зуево: ГГТУ, 2023. — С. 120–124.
- 8 Ханина М.А. Закономерности в распределении элементов в наземной части *Centaurea cyanus* L. / М.А. Ханина, М.Г. Лежнина, Е.А. Подолина, Д.С. Зинин, Ю.А. Кузнецова, А.П. Родин // Вестн. Смолен. гос. мед. акад. — 2023. — Т. 22. №1. — С. 183–190.
- 9 Лежнина М.Г. Элементы плодов рябины обыкновенной / М.Г. Лежнина, М.А. Ханина, Н.М. Потемкина, А.П. Родин, Л.В. Смирнова // Вестн. Южно-Казахстан. мед. акад. — 2022 — Т. II. № 4 (98). — С. 56–61.
- 10 СанПиН–2.3.2.1078–01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 36 от 14.11.2001 г. Зарегистрировано в Минюсте РФ 22 марта 2002 г. № 3326 (в ред. Дополнения и изменения № 18, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.06.2010 г., № 71).

М.Г. Лежнина, М.В. Белоусов, М.А. Ханина, Е.А. Подолина, Н.М. Потемкина, А.П. Родин

Қайың жапырақтарындағы химиялық элементтердің таралу заңдылықтары

Дәрілік өсімдік шикізаты мен фитопрепараттардың биологиялық белсенділігі биологиялық белсенді заттар мен химиялық элементтер кешеніне байланысты. Дәрілік өсімдіктердегі, дәрілік өсімдік шикізатындағы химиялық элементтердің құрамының өсу жағдайларына әсерін зерттеу өзекті болып табылады. Дәрілік өсімдіктерде, дәрілік өсімдік шикізатында химиялық элементтердің таралуындағы заңдылықтарды зерттеу және шикізаттың түпнұсқалығы мен тазалығын анықтау үшін анықталған заңдылықтарды қолдану мүмкіндігі ерекше қызығушылық тудырады. Экологиялық таза аумақта және антропогендік жүктемесі әртүрлі аймақтардан жиналған қайың жапырақтары зерттелді. Элементтердің құрамы мен мөлшері ИСП-МС әдісімен талданды (ELAN DRC-е ICP-MS масс-спектрометрі, Agilent 715 ICP-OES оптикалық-эмиссиялық спектрометрі). Химиялық талдау нәтижелерін статистикалық өңдеу Microsoft® Excel 2010 бағдарламасында орындалды. 60 элементтің концентрациясын салыстыру ең кіші квадраттар әдісін қолдана отырып жүргізілді. Антропогендік жүктеме дәрежесі бойынша ерекшеленетін өсу орындарынан жиналған қайың жапырақтарындағы концентрациялардың логарифмдерін салыстырмалы талдау олардың арасындағы күшті корреляциялық байланысты көрсетті ($r = 0,99$; $R^2 = 0,9$). Химиялық элементтер концентрациясының логарифмінің мерзімді тәуелділігін көрсететін диаграмма қайың жапырақтарының элемент профилі болып табылады және олардың түпнұсқалығы мен тазалығын анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: химиялық элементтер, қайың жапырақтары, ИСП-МС, элементтік профиль, түпнұсқа, тазалық.

M.G. Lezhnina, M.V. Belousov, M.A. Khanina, E.A. Podolina, N.M. Potemkina, A.P. Rodin

Patterns in the distribution of chemical elements in birch leaves

The biological activity of medicinal plant raw materials and herbal remedies is due to a complex of biologically active substances and chemical elements. The study of the influence of growth conditions on the composition and content of chemical elements in medicinal plants and medicinal plant raw materials is relevant. Of particular interest is the study of patterns in the distribution of chemical elements in medicinal plants, medicinal plant raw materials and the possibility of using the identified patterns to establish the authenticity and purity of raw materials. Birch leaves collected in an ecologically clean area and in areas with varying degrees of anthropogenic load were studied. The composition and content of elements were analyzed by ICP-MS (ELAN DRC-e ICP-MS mass spectrometer, Agilent 715 ICP-OES optical emission spectrometer). Statistical processing of the results of chemical analysis was carried out in Microsoft® Excel 2010. The concentrations of 60 elements were compared using the least squares method. A comparative analysis of the logarithms of concentrations in birch leaves collected from growing areas that differ in the degree of anthropogenic load showed a strong correlation between them ($r = 0.99$; $R^2 = 0.9$).

A diagram showing the periodic dependence of the logarithm of the concentrations of chemical elements represents the elemental profile of birch leaves and can be used to determine their authenticity and purity.

Keywords: chemical elements, birch leaves, ICP-MS, elemental profile, authenticity, purity.

References

- 1 Gosudarstvennaia farmakopeia Rossiiskoi Federatsii. XIV izdaniie [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition]. Retrieved from <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/> [in Russian].
- 2 Gosudarstvennyi reestr lekarstvennykh sredstv [State register of medicines]. Retrieved from <https://grls.minzdrav.gov.ru/Default.aspx> [in Russian].
- 3 Elizaryeva, E.N., Yanbaev, Yu.A., Redkina, N.N., Kudashkina, N.V., & Baykov, A.G. (2017). Otsenka zagriazneniia pochv v zone vliianiia predpriatii metallurgicheskoi otrasli [Assessment of soil pollution in the zone of influence of metallurgical industry enterprises]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of the Orenburg State University*, 9 (209), 8–13 [in Russian].
- 4 Farkhutdinov, R.G., Kudashkina, N.V., Khasanova, S.R., & Trofimova, S.V. (2013). Opredelenie sodержaniia ioda v rasteniiakh Respubliki Bashkortostan [Determination of iodine content in plants of the Republic of Bashkortostan]. *Rastitelnye resursy — Plant resources*, 49 (1), 139–146 [in Russian].
- 5 Khanina, M.A., Gusel'nikova, E.N., Rodin, A.P., & Khanina, M.G. (2017). Elementnyi sostav listev berezy v usloviakh antropogennoi nagruzki [Elemental composition of birch leaves under anthropogenic load]. *Perspektivy vnedreniia innovatsionnykh tekhnologii v meditsine i farmatsii: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem — Prospects for the implementation of innovative technologies in medicine and pharmacy: a collection of materials from the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Orehovo-Zuevo: Gosudarstvennyi gumanitarno-tekhnologicheskii universitet, 250–258 [in Russian].
- 6 Pavlov, V.E., Khramova, E.P., Khvostov, I.V., Kovalskaya, G.A., Kutsenog, K.P., Chankina, O.V., & Kovalevskaya, N.M. (2008). Obobshchennaia model rasprostranennosti riada khimicheskikh elementov v *Pentaphylloides fruticosa* [Generalized model of the prevalence of a number of chemical elements in *Pentaphylloides fruticosa*]. *Khimiia rastitel'nogo syria — Chemistry of plant raw materials*, 3, 163–168 [in Russian].
- 7 Khanina, M.A., Lezhnina, M.G., Rodin, A.P., Potemkina, N.M., & Smirnova, L.V. (2023). Elementy listev i polisakharidov *Tilia cordata* Will. [Elements of leaves and polysaccharides of *Tilia cordata* Will.]. *Actual problems of ecology: Materials of the XV International Scientific Practical Conference*. Orehovo-Zuevo: Gosudarstvennyi gumanitarno-tekhnologicheskii universitet, 120–124 [in Russian].
- 8 Khanina, M.A., Lezhnina, M.G., Podolina, E.A., Zinin, D.S., Kuznetsova, Yu.A., & Rodin, A.P. (2023). Zakonomernosti v raspredelenii elementov v nadzemnoi chasti *Centaurea cyanus* L. [Patterns in the distribution of elements in the aerial parts of *Centaurea cyanus* L.]. *Vestnik Smolenskoii gosudarstvennoi meditsinskoi akademii — Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*, 22 (1), 183–190 [in Russian].
- 9 Lezhnina, M.G., Khanina, M.A., Potemkina, N.M., Rodin, A.P., & Smirnova, L.V. (2022). Elementy plodov riabiny obyknovnoi [Elements of rowan fruits]. *Vestnik Yuzhno-Kazakhstanskoi meditsinskoi akademii — Bulletin of the South Kazakhstan Medical Academy*, II, 4(98), 56–61 [in Russian].
- 10 (2022). SanPiN–2.3.2.1078–01 Prodovol'stvennoe syre i pishchevye produkty. Gigienicheskie trebovaniia k bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF № 36 ot 14.11.2001 goda. Zaregistrirvano v Miniuste RF 22 marta 2002 goda, № 3326 (v redaktsii: Dopolneniia i izmeneniia № 18, utvrzhdennykh Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.06.2010 goda, № 71) [SanPiN-2.3.2.1078-01 Food raw materials and food products. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 36 of November 14, 2001. Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on March 22, 2002 No 3326 (as amended by Additions and Amendments N 18, approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 06.28.2010, No 71)] [in Russian].

Information about authors

Lezhnina, Marina Grigorjevna — Candidate of pharmaceutical sciences, Docent of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; xm_86@mail.ru;

Belousov, Mikhail Valerjevich — Doctor of pharmaceutical sciences, Professor, Head of Department of Pharmaceutical Analysis, Siberian State Medical University, Tomsk, Russia; belousov.mv@ssmu.ru;

Khanina, Minisa Abdullayevna — Doctor of pharmaceutical sciences, Professor, Head of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; khanina06@mail.ru;

Podolina, Elena Alexeevna — Doctor of chemical sciences, Professor of Moscow Polytechnic University (Electrostal Branch), Electrostal, Russia; podolina70@mail.ru;

Potemkina, Natalya Mikhailovna — Candidate of chemical sciences, Docent of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; Ecolab@mail.ru;

Rodin, Anatoly Petrovich — Candidate of medical sciences, Docent of Pharmacy Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; rodinap@yandex.ru.

O.V. Nedilko*, A.V. Yanitskaya

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

*Corresponding author: letneva@list.ru

Development and validation of method of quantitative determination of flavonoids from the above-ground part of *Glycyrrhiza glabra* L.

The aim of this study was to determine the optimal extraction factors of flavonoids from the above-ground part of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) and to develop a method for their quantitative determination by differential spectrophotometry. The object of the study was collected in the Volgograd region during flowering and dried samples of the herb of the medicinal plant. Ethyl alcohol 70% was chosen as the optimal extractant of flavonoids from the studied raw materials. It was found that the extraction of the maximum amount of flavonoid fraction is observed at three times extraction of plant raw material for 30 minutes each in the ratio with extractant 1:30. Quantitative determination of flavonoid compounds was performed by measuring the optical density of coloured complexes formed in extracts from the above-ground part of *G. glabra* L. with 2.5% aluminum chloride solution. Detection of the optical density of the tested solutions was conducted at a wavelength of 408 nm, corresponding to the maximum of the standard sample solution of rutin (Sigma, USA) after the addition of 2.5% aluminum chloride solution. Determined by differential spectrophotometry method the content of the sum of flavonoids in recalculation on rutin in extracts from the studied samples of plant raw materials of *G. glabra* L., obtained under the selected conditions, is $4.34 \pm 0.06\%$. The relative error of determination did not exceed 5%. A validation analysis was also conducted, the results of which showed the specificity, linearity and precision of the developed methodology. The studied validation parameters were within the acceptance criteria.

Keywords: *Glycyrrhiza glabra* L., licorice, plant raw material, above-ground part, rutin, differential spectrophotometry.

Introduction

The above-ground part of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) of the *Fabaceae* family is a potential object of pharmacognostic study for obtaining highly effective therapeutic and preventive drugs [1, 2]. It is known that the green parts of the medicinal plant contain di- and polysaccharides, triterpene saponins, tannins, vitamins, amino acids, flavonoids (pinocembrin, rutin, quercetin, vitexin, etc.) [3–5]. However, for the successful introduction of herb of *G. glabra* into practical medicine and optimization of the use of this morphological group of plant raw materials in the therapy of various diseases, it is necessary to develop complex approaches to its standardization.

Due to the fact that the formation of the main pharmacological properties (antimicrobial, anti-inflammatory [6, 7], etc.) of this plant raw material is directly related to the presence of flavonoids in the herb of *G. glabra*, it is rational to study the dynamics of accumulation of compounds of this group, as well as the development of approaches and techniques for their quantitative determination [8, 9]. At the same time, an important stage is the selection of optimal extraction conditions of the basic group of biologically active substances, allowing to achieve maximum yield from plant objects.

Therefore, the aim of this study was to determine the influence of some factors (type of extractant, time and extraction multiplicity) on the process of flavonoids extraction from the above-ground part of licorice and their practical application in the development of quantitative determination methods in the plant raw material.

Experimental

Samples of the above-ground part (air-dried raw material) of *G. glabra*, collected in the Volgograd region from wild populations of the medicinal plant in late June – early July 2023 during the period of flowering of the medicinal plant, were used in this study.

The yield of flavonoid fraction from plant raw materials is influenced by the type of extractant, time and multiplicity of extraction. Traditionally, extraction of flavonoid fraction in the development of quantitative determination methodology in plant raw materials is conducted with ethyl alcohol. In this study, ethyl

alcohol of different concentrations (30%, 50%, 70%, and 95%) was used as an extractant. The optimal concentration was selected at which the highest yield of flavonoids was observed.

1.0 g of licorice herb ground to 1 mm was placed in a flat-bottomed flask, 30 ml of ethyl alcohol of appropriate concentration was added. The flask with the contents was weighed, connected to a condenser and the raw material was extracted for 30 minutes. Then the flask was cooled, weighed and the mass was brought to the original weight with ethyl alcohol. The obtained extract was filtered (solution A) and used for quantitative determination of flavonoid amount by differential spectrophotometry. 2.5 ml of solution A was placed in a 25 ml volumetric flask, 2.5 ml of 2.5% aluminum chloride and 0.1 ml of diluted acetic acid were added. In another flask 2.5 mL of solution A and 0.1 mL of dilute acetic acid were placed. Both flasks were brought to the mark with alcohol of appropriate concentration (solution B) and measured the optical density of the studied solutions spectrophotometer Shimadzu UV-1800 in quartz cuvettes with a layer thickness of 10 mm at the analytical wavelength corresponding to the wavelength of the standard sample solution of rutin used in the work (408±2 nm).

In parallel, the optical density of rutin standard sample solution (Sigma, USA) was measured according to the same principle. For the preparation of solution A about 0.05 g (exact weight) of rutin was placed in a measuring flask with a capacity of 100 ml and brought with ethyl alcohol 95% to the mark.

The optical density of the test extract with aluminum chloride was measured relative to the control (extract without addition of aluminum chloride solution).

Calculation of the quantitative content of flavonoids (X, %) in recalculation on rutin in absolutely dry raw material was performed according to the formula:

$$X = \frac{A \cdot V_1 \cdot 25 \cdot 100}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \cdot m \cdot V_2 \cdot (100 - W)}$$

where A – optical density of the tested solution;

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$ – specific absorption index of rutin solution;

V_1 – volume of extractant;

V_2 – volume of aliquot for preparation of solution B;

m – weight of raw material, g;

W – moisture content of plant raw material, %.

Then the optimal extraction time and extraction multiplicity were selected.

Statistical processing of experimental data was performed using Microsoft Office Excel computer program. Each test was done three times (P = 95%; n = 3).

Validation of the method for quantitative determination of flavonoids in the above-ground part of *G. glabra* was performed according to the following indicators: specificity, linearity, precision (repeatability).

Specificity of the method was determined by the position of maxima of light absorption of flavonoids complexation reaction products of alcoholic extracts from licorice and standard sample of rutin with aluminum chloride on differential spectra.

Determination of the linearity of the method included the study of the dependence of the values of optical density of the stained complexes of flavonoids of the studied extracts from the above-ground part of the medicinal plant with aluminum chloride on their concentration. For this purpose, five dilutions of alcoholic extract were prepared. In five volumetric flasks (25 ml) were placed 1.0 ml; 1.5 ml; 2.0 ml; 2.5 and 3.0 ml of the extract, 10 ml of 95% ethyl alcohol, 2.5 ml of 2.5% alcoholic solution of aluminum chloride were added. The optical density of the obtained solutions was measured and the dependence diagram was plotted.

The precision (repeatability) of the method was determined by taking six exact weights of herb of *G. glabra*, preparing six alcoholic extracts according to the developed method and determining the content of the sum of flavonoids in the tested samples of raw materials.

Results and Discussion

The dominance of rutin in the above-ground part of *G. glabra* was previously established by HPLC [10]. Due to the fact, this flavonoid has a significant role in the formation of the spectral characteristics of the tested extracts from the herb of this medicinal plant. When studying their differential spectra, it was found that the stable absorption maximum is observed at a wavelength of 407±2 nm and is similar to the maximum of the solution of the standard sample of rutin used in the work (408±2 nm) (Fig. 1).

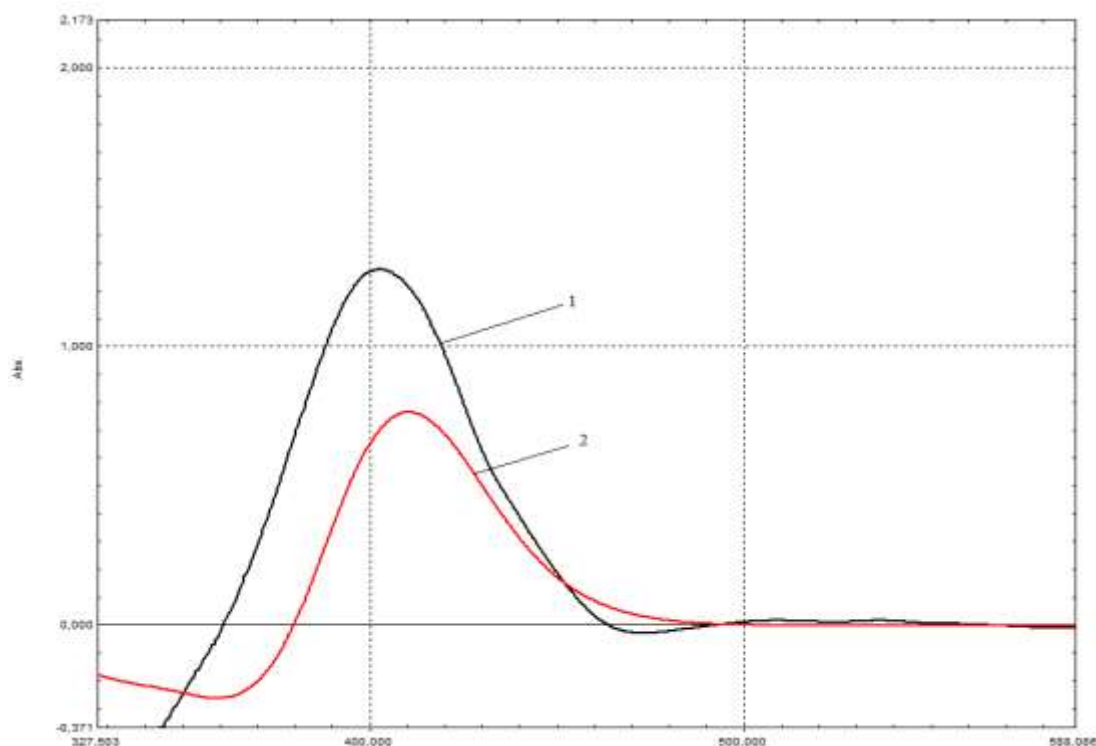


Figure 1. Differential spectra of alcohol extracts from the herb of *Glycyrrhiza glabra* (1) and rutin standard sample solution (2)

This region of the spectrum is quite different from the absorption spectra of other groups of phenolic compounds, which are present in extracts from plant raw materials, and improves the selectivity of the determination. This fact is taken as a basis for the developed method. Quantitative determination of the sum of flavonoids in the above-ground part of *G. glabra* was conducted in recalculation on rutin. The wavelength at which the maximum of the standard sample was observed was chosen as the analytical wavelength.

Data on the influence of extractant concentration on the yield of this group of biologically active substances from herb of *G. glabra* are presented in Table 1.

Table 1

The effect of ethyl alcohol concentration on the yield of flavonoids from the herb of *Glycyrrhiza glabra* L.

Ethyl alcohol concentration	Flavonoids content, %
30%	2,68±0,08
50%	3,01±0,04
70%	3,30±0,09
95%	3,18±0,04

It was found that the maximum value of the amount of flavonoids in recalculation on rutin in the extracts is observed when extracting plant material *G. glabra* with ethyl alcohol 70%. Therefore, further studies were performed using ethyl alcohol of this concentration.

Tables 2 and 3 show the results of the effect of the multiplicity and time of extraction with ethyl alcohol 70% on the yield of flavonoid fraction from the tested samples of plant raw materials.

Table 2

Effect of extraction time with 70% ethyl alcohol on the yield of flavonoids from the herb of *Glycyrrhiza glabra* L.

Extraction time	Flavonoids content, %
30 min	3,27±0,04
60 min	3,65±0,09
90 min	3,98±0,11

Table 3

Effect of extraction multiplicity on the yield of flavonoids from the herb of *Glycyrrhiza glabra* L.

Extraction multiplicity	Flavonoids content, %
1	4,04±0,09
1/2	4,24±0,07
1/3	4,33±0,09

The obtained results indicate that the optimal factors of extraction are three times extraction of the exact weight (1.0) of the plant raw material (herb of *G. glabra*) crushed to 1 mm for 30 minutes with ethyl alcohol 70%. The content of the sum of flavonoids in recalculation on rutin in extracts from the above-ground part of the medicinal plant obtained under these conditions, determined by differential spectrophotometry, was 4.34±0.06% (with a confidence level of 95%). The metrological characteristic of the experiment is presented in Table 4.

Table 4

Metrological characterization of the quantitative determination of the content of the sum of flavonoids in recalculation on rutin in the herb of *Glycyrrhiza glabra* L.

f	Xcp	S	P, %	t (P, f)	ΔX	E, %
5	4,34	0,05	95	2,57	0,06	3,38

Linear regression parameters were calculated in Microsoft Office Excel programme. The dependence of the optical density value of the tested extracts on the content of the sum of flavonoids in recalculation on rutin (%) is described by the equation $y=0,505x+2,193$ (Fig. 2). R^2 is 0.996, which confirms the linear dependence in the studied range of concentrations.

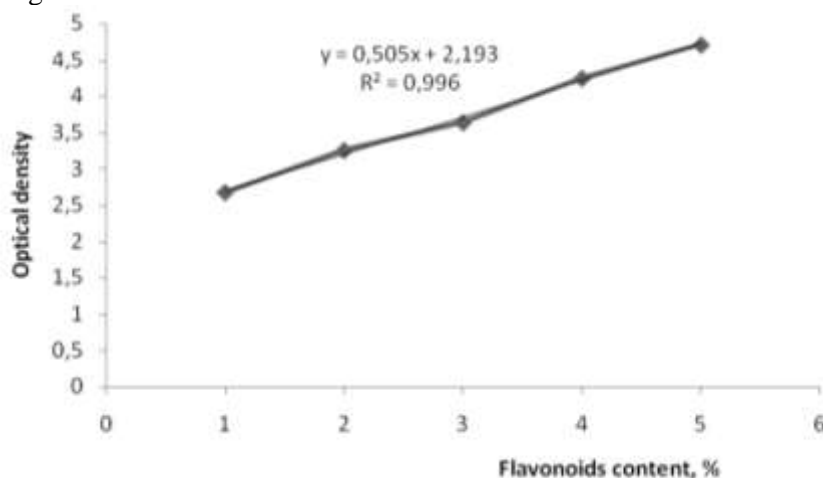


Figure 2. Dependence of optical density of extracts from the above-ground part of *Glycyrrhiza glabra* on the content of the sum of flavonoids in recalculation on rutin

Determination of precision (reproducibility) indicates the repeatability of this method. The relative error (E, %) was 3.38%.

Conclusions

Thus, in the course of the study, the optimal parameters affecting the extraction of flavonoids from herb of *G. glabra* L. were determined. The obtained data were used in the development of methods for quantitative determination of compounds of this group of biologically active substances in the examined plant raw materials. It was found that the maximum yield of the sum of flavonoids in recalculation on rutin is observed at three times extraction on 30 minutes of samples of licorice herb 70% ethyl alcohol and on the average was 4,34±0,06%.

Validation evaluation of the developed method was also carried out in terms of specificity, linearity, precision (repeatability), the results of which are within the criteria of acceptability.

References

- 1 Толстиков Г.А. Солодка: биоразнообразии, химия, применение в медицине / Г.А. Толстиков и др. — Новосибирск: Гео, 2006. — 312 с.
- 2 Yuldashev M.P. New flavanoglycoside from *Glycyrrhiza glabra* / M.P. Yuldashev // Chemistry of natural compounds. — 2001. — No. 37. — P. 224–225.
- 3 Недилко О.В. Изучение аминокислотного состава надземной и подземной частей солодки голой / О.В. Недилко, А.В. Яницкая // Химия растительного сырья. — 2020. — № 1. — С. 251–256. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014678>
- 4 Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Hydrangeaceae-Haloragaceae*. — Л., 1987. — Т. 3. — 328 с.
- 5 Маматханова М.А. Изучение надземной части *Glycyrrhiza glabra* в качестве перспективного сырья для производства препаратов на основе флавоноидов / М.А. Маматханова и др. // Химия растительного сырья. — 2016. — № 1. — С. 171–176. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201601685>
- 6 Said M.M. Antifibrotic Mechanism of Pinocembrin: Impact on Oxidative Stress, Inflammation and TGF- β / Smad Inhibition in Rats / M.M. Said, S.S. Azab, N.M. Saeed // Ann Hepatol. — 2018. — Vol. 1(17), No. 2. — P. 307–317. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.8661>
- 7 Куркин В.А. Флавоноиды как биологически активные соединения лекарственных растений / В.А. Куркин, А.В. Куркина, Е.В. Авдеева // Фундаментальные исследования. — 2013. — Т. 9, № 11. — С. 1897–1901.
- 8 Quideau S. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis / S. Quideau et al. // Angewandte Chemie International Edition. — 2011. — Vol. 50, No. 3. — P. 586–621.
- 9 Адекенов С.М. Флавоноиды почек тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. и способы их выделения / С.М. Адекенов, Г.М. Байзаров, И.А. Хабаров, В.В. Поляков // Химия растительного сырья. — 2020. — № 1. — С. 251–256. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020027602>
- 10 Недилко О.В. Идентификация кверцетина и его глюкозида рутина в траве солодки голой методом ВЭЖХ / О.В. Недилко, А.В. Яницкая, Г.В. Гришанин // Сб. тр. 9-ой Междунар. науч.-метод. конф. «Пути и формы совершенствования фармацевтического образования». — Воронеж, 2023. — С. 333–337.

О.В. Недилко, А.В. Яницкая

***Glycyrrhiza glabra* L. жерүсті мүшелеріндегі флавоноидтарды сандық анықтау әдістерін әзірлеу және валидациялау**

Зерттеудің мақсаты — мия тамырының (*Glycyrrhiza glabra* L.) жерүсті бөлігінен флавоноидтарды алу-дың оңтайлы коэффициенттерін анықтау және оларды дифференциалды спектрофотометрия әдісімен сандық анықтау әдістемесін әзірлеу. Зерттеу нысаны ретінде Волгоград облысында гүлдену кезінде жиналған және дәрілік өсімдік шөптерінің кептірілген үлгілері алынған. Зерттелетін шикізаттан флавоноидтардың оңтайлы экстрагенті ретінде 70% этил спирті таңдалды. Флавоноидты фракцияның максималды мөлшерін алу өсімдік шикізатын экстрагент 1:30 қатынасында 30 минуттан үш рет алу кезінде байқалатыны анықталды. Флавоноидты қосылыстарды сандық анықтау *G. glabra* L. жерүсті бөлігінен алынған сығындыларда түзілген боялған кешендердің оптикалық тығыздығын өлшеу 2,5 % алюминий хлоридінің ерітіндісі арқылы жүргізілді. Зерттелетін ерітінділердің оптикалық тығыздығын анықтау 2,5% алюминий хлоридінің ерітіндісін қосқаннан кейін стандартты рутин үлгісі (Sigma, АҚШ) ерітіндісінің максимумына сәйкес келетін 408 нм толқын ұзындығында жүргізілді. Дифференциалды спектрофотометрия әдісімен анықталған, таңдалған жағдайларда алынған *G. glabra* L. өсімдік шикізатының зерттелетін үлгілерінен алынған сығындылардағы флавоноидтардың рутиндік мөлшері $4,34 \pm 0,06\%$ құрайды. Анықтаудың салыстырмалы қателігі 5%-дан аспады. Сондай-ақ, валидациялық талдау жүргізілді, оның нәтижелері әзірленген әдістеменің ерекшелігін, сызықтығын және дәлдігін көрсетті. Тексерудің зерттелген параметрлері жарамдылық критерийлері шегінде болды.

Кілт сөздер: *Glycyrrhiza glabra* L., мия тамыры, өсімдік шикізаты, жерүсті мүшелері, рутин, дифференциалды спектрофотометрия.

О.В. Недилко, А.В. Яницкая

Разработка и валидация метода количественного определения флавоноидов в надземных органах *Glycyrrhiza glabra* L.

Цель исследования — определение оптимальных коэффициентов извлечения флавоноидов из надземной части солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.) и разработка методики их количественного определения методом дифференциальной спектрофотометрии. Объектом исследования служили собранные в Волгоградской области во время цветения и высушенные образцы травы лекарственного растения. В качестве оптимального экстрагента флавоноидов из исследуемого сырья был выбран спирт этиловый 70

%. Установлено, что извлечение максимального количества флавоноидной фракции наблюдается при трехкратном экстрагировании растительного сырья по 30 мин в соотношении с экстрагентом 1:30. Количественное определение флавоноидных соединений проводили путем измерения оптической плотности окрашенных комплексов, образующихся в экстрактах из надземной части *G. glabra* L., с 2,5 % раствором алюминия хлорида. Определение оптической плотности исследуемых растворов проводили при длине волны 408 нм, соответствующей максимуму раствора стандартного образца рутина (Sigma, США) после добавления 2,5 % раствора хлорида алюминия. Определенное методом дифференциальной спектрофотометрии содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин в экстрактах из исследуемых образцов растительного сырья *G. glabra* L., полученных в выбранных условиях, составляет $4,34 \pm 0,06$ %. Относительная ошибка определения не превышала 5 %. Также был проведен валидационный анализ, результаты которого показали специфичность, линейность и прецизионность разработанной методики. Исследованные параметры валидации находились в пределах критериев приемлемости.

Ключевые слова: *Glycyrrhiza glabra* L., солодковый корень, растительное сырье, надземные органы, рутин, дифференциальная спектрофотометрия.

References

- 1 Tolstikov, G.A. (2006). Solodka: bioraznoobrazie, khimiia, primeneniye v meditsine [Licorice: biodiversity, chemistry, medical applications]. Novosibirsk: Geo [in Russian].
- 2 Yuldashev, M.P. (2001). New flavanoglycoside from *Glycyrrhiza glabra*. *Chemistry of natural compounds*, 37; 224–225.
- 3 Nedilko, O.V. & Yanitskaya, A.V. (2020). Izuchenie aminokislotojnogo sostava nadzemnoi i podzemnoi chastei solodki goloi [The study of amino acid content of *Glycyrrhiza glabra* above-ground and underground parts]. *Khimiia rastitel'nogo syria — Chemistry of Plant Raw Materials*, 1, 251–256. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014678> [in Russian].
- 4 (1987). Rastitelnye resursy SSSR. Tsvetkovye rasteniia, ikh khimicheskii sostav, ispolzovanie. Semeistva *Hydrangeaceae-Haloragaceae* [Plant resources of the USSR. Flowering plants, their chemical composition, the use. Family *Hydrangeaceae-Haloragaceae*]. Leningrad, 3 [in Russian].
- 5 Mamatkhanova, M.A. & et al. (2016). Izuchenie nadzemnoi chasti *Glycyrrhiza glabra* v kachestve perspektivnogo syria dlia proizvodstva preparatov na osnove flavonoidov [Study of aerial parts of *Glycyrrhiza glabra* as promising raw materials for the production of drugs]. *Khimiia rastitel'nogo syria — Chemistry of Plant Raw Materials*, 1, 171–176. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201601685> [in Russian].
- 6 Said, M.M., Azab, S.S., & Saeed, N.M. (2018). Antifibrotic Mechanism of Pinocembrin: Impact on Oxidative Stress, Inflammation and TGF- β /Smad Inhibition in Rats. *Ann Hepatol*, 1 (17), 2; 307–317. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.8661>
- 7 Kurkin, V.A., Kurkina, A.V., & Avdeeva, E.V. (2013). Flavonoidy kak biologicheski aktivnie soedineniia lekarstvennykh rastenii [The flavonoids as biologically active compounds of medicinal plants]. *Fundamentalnye issledovaniia — Fundamental Study*, 9(11), 1897–1901 [in Russian].
- 8 Quideau, S. et al. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3); 586–621.
- 9 Adekenov, S.M., Baisarov, G.M., Khabarov, I.A., & Polyakov, V.V. (2020). Flavonoidy pochek topolia balzamicheskogo *Populus balsamifera* L. i sposoby ikh vydeleniia [Flavonoids of *Populus balsamifera* L. buds and methods for their isolation]. *Khimiia rastitel'nogo syria — Chemistry of Plant Raw Materials*, 1; 251–256. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020027602> [in Russian].
- 10 Nedilko, O.V., Yanitskaya, A.V., & Grishanin, G.V. (2023). Identifikatsiia kvvertetsina i ego gliukozida rutina v trave solodki goloi metodom vysokoeffektivnoi zhidkostnoi khromatografii [Identification of quercetin and its glycoside rutin in herb of *Glycyrrhiza glabra* by the HPLC method]. *Sbornik trudov 9-oi Mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Puti i formy sovershenstvovaniia farmatsevticheskogo obrazovaniia» — Collection of materials of 9th International scientific-methodological conference: Ways and forms of pharmaceutical education*. Voronezh, 333–337 [in Russian].

Information about authors

Nedilko, Olga Viktorovna — Senior Lecturer of the Department of Pharmacognosy and Botany, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation; letneva@list.ru;

Yanitskaya, Alla Vladimirovna — Candidate of biological sciences, Head of the Department of Pharmacognosy and Botany, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation; a.yanitskaya@yandex.ru.

А.И. Сливкин¹, А.С. Беленова¹, С.В. Корниенко², Н.А. Дьякова^{1*}, Ю.В. Добрин¹

¹ Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия;

² Воронежский областной клинический противотуберкулезный диспансер имени Н.С. Похвисневой, Воронеж, Россия

*Автор для корреспонденции: Ninochka_V89@mail.ru

Новые полимерные комплексы гидразида изоникотиновой кислоты противотуберкулезного и иммуностимулирующего действия

Туберкулез относится к одному из социально значимых заболеваний. В научной литературе обоснована целесообразность использования полимерных матриц для иммобилизации протуберкулезных препаратов, что способствует завершению фагоцитоза. Проведено сравнительное исследование противотуберкулезной активности аналогов конденсата гидразида изоникотиновой кислоты при лечении экспериментального туберкулеза у мышей. Установлена эффективность использования хлоргидроксихитозанового комплекса с 1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном с включенным Co²⁺ в сравнении с хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном при лечении экспериментального туберкулеза. Выявлена иммуностимулирующая активность полимерного металлокомплекса, сравнимая с комплексом хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном. Полученные в эксперименте результаты могут использоваться при разработке современных методов лечения туберкулеза.

Ключевые слова: туберкулез, полимерный металлокомплекс, хитозан, изониазид, противотуберкулезная активность.

Введение

Туберкулез относится к одному из социально значимых заболеваний, широко распространённых в мире у человека и животных. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения на 2017 год, ежегодно в мире туберкулезом заболевают до 10 миллионов человек, и около 1,5 миллионов человек умирают от данного заболевания [1]. Туберкулез вызывается различными видами микобактерий из группы *Mycobacterium tuberculosis complex* (*M. tuberculosis* и другими близкородственными видами). Туберкулёз обычно поражает лёгкие, реже затрагивая другие органы и системы. *Mycobacterium tuberculosis* передаётся воздушно-капельным путём при разговоре, кашле и чихании больного. Чаще всего после инфицирования микобактериями заболевание протекает в бессимптомной, скрытой форме, но примерно один из десяти случаев скрытой инфекции переходит в активную форму [2, 3].

В научной литературе обосновывается целесообразность использования полимерных матриц для иммобилизации протуберкулезных препаратов, что способствует завершению фагоцитоза. Проведенный анализ научных публикаций дает основание утверждать, что бактериальные и вирусные антигены, конъюгированные с заряженными полимерными матрицами, формируют в организме высокую специфическую протекторную иммунную защиту против соответствующих патогенных антител [4]. Все это открывает возможность использования клеточных механизмов естественной защиты организма для подавления туберкулезной инфекции. Сообщается, что для борьбы с туберкулезной инфекцией целесообразно использовать полимерные модифицированные антибактериальные средства, обладающие возможностью адресной внутриклеточной доставки лекарства, восстанавливать естественные защитные механизмы организма, в частности, активировать функционирование макрофагов, проявляющих лизосомотропность, корригирующих процессы эндоцитоза [5, 6]. В качестве полимерных матриц применялся подвергнутый химической модификации декстран со средней молекулярной массой 30–40 тысяч [7, 8].

Целью исследования явилось проведение сравнительного исследования противотуберкулезной активности аналогов конденсата гидразида изоникотиновой кислоты при лечении экспериментального туберкулеза у мышей.

Материалы и методы

В представленной работе для иммобилизации 1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном (ИНГГ) (конденсата гидразида изоникотиновой кислоты (ГИНК) с глюкозой) [9] использована полимерная

матрица — водорастворимый катионоактивный аналог хитозана N-хлоргидроксипропилхитозан (ХГХТЗ) с высокой степенью диссоциации ионогенных групп [10], со средней молекулярной массой 10–12 тысяч [7, 11, 12], комплексированная с ионами кобальта (ГХТЗ-Со). Металлокомплексы модифицированных полиионов синтезировали по известной методике [13–15]. Содержание металлов в полимерметаллокомплексах определяли комплексонометрически [16]. Кристаллогидраты $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки ч.д.а. использовали после двойной перекристаллизации.

Связывание лекарственного вещества с ХГХТЗ-Со проводили в водном растворе при перемешивании в течение 90 мин с продувкой азотом (25 оС); соотношение полимер: ИНГГ, как 1:1, объемный модуль—26. Целевой продукт — гидроксипропилхитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозон (ГХТЗ-Со-ИНГГ) осаждали этанолом. Непрореагированный ИНГГ и образовавшаяся ГИНК выделяли и определяли количественной экстракцией с контролем исчерпывающего его излучения УФ-спектроскопией по полосе поглощения 262 нм в экстракте. По длинам электронных спектров центральный ион имеет октаэдрическое окружение. Геометрия связывания Co^{2+} в комплексе квадратно-планарная [5, 12, 17]. Содержание ИНГГ а в полученном продукте определяли элементным анализом на азот и УФ-спектроскопией. Его содержание в целевом продукте 9,7 %. Туберкуло-статическая активность *in vitro* (H37Rv) для полученного полимерного комплекса в пересчете на ГИНК составляла 0,08 мкг/мл.

Результаты и их обсуждение

Исследовали иммуномодулирующие свойства полииона с Co^{2+} в сравнении ГХТЗ-Со с ГИНК, ХТЗ-Со-ГИНК [10]. Использовали мышей линии СВА трехмесячного возраста, массой 18–20 г. Иммунизация проводилась однократно внутрибрюшинно эритроцитами барана (ЭБ). На пятые сутки после антигенного стимула в селезенке определяли количество антителообразующих клеток (АОК) прямым методом локального гемолиза в агарозе по Эрне [10, 18]. Полимерные комплексы вводили однократно внутрибрюшинно вместе с ЭБ в дозе 25,0 мг/кг. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Влияние полимерных комплексов ХТЗ на иммунный ответ на эритроциты барана

Исследуемые соединения	Число ядродержащих клеток селезенки (10 ⁹)	Число АОК	КИС	Число мышей
Контроль	135±8	1300±178	-	10
ХТЗ	130±12	3942±180*	2,96	10
ХТЗ-Со	140±8	7000±600*	5,38	10
ХТЗ-Со-ГИНК	126±8	3608±190*	2,93	10
ГХТЗ-Со- ИНГГ	128±9	3801±189	2,92	10

*Примечание. КИС — отношение числа АОК для препарата к числу АОК для контроля; * — статистически достоверное значение по сравнению с контролем.*

Противотуберкулезное действие полимерного комплекса ИНГГа определялось путем изучения средней продолжительности жизни (SPG) животных. SPG оценивали с момента заражения мышей линии СВА массой 18–20 г до их гибели. Животных (55 шт.) заражали внутривенно вирулентной культурой H37Rv 0,1 мг на мышь [10]. Лечение начинали через 12 дней после заражения, регистрируя изменения внутренних органов. К началу лечения индекс патологических изменений легочной ткани у всех животных составлял 2,4. Патологические изменения туберкулезного характера во внутренних органах устанавливали путем окраски мазков-отпечатков по методу Циля-Никольсона на микобактерии туберкулеза. Различия между сравниваемыми средними считали достоверными при $p < 0,05$ (критерий Стьюдента). 15 мышей первой группы лечили раствором ГИНК в дозе 25 мг/кг. Препараты ГХТЗ-Со-ИНГГ животным второй группы вводили внутривенно через каждые 2 суток в равных по ГИНК дозах для первой группы. Животных контрольной группы наблюдали параллельно. В результате средняя продолжительность жизни контрольной группы составила 22 дня, в первой группе — через 32 дня пало 7 животных, а во второй группе — через 43 дня погибло 5 мышей. Эффективность проведенной терапии определяли также по данным оценки внутренних органов [19] (табл. 2).

Эффективность терапии патологических изменений противотуберкулезного характера

Орган	Пораженность в баллах			
	контрольная группа	1-я группа	2-я группа	3-я группа
Легкие	12	8,1	7,6	8,1
Печень	34	11,5	12,0	11,2
Селезенка	29	10,4	11,5	11,2
Сумма	78	30,0	31,5	31,4

Данные проведенного исследования показывают повышенную эффективность нового аналога ГИНК при лечении экспериментального туберкулеза на мышах. Новый полимерный металлокомплекс ГХТЗ-Со-ИНГГ обладает выраженной иммуностимулирующей активностью.

Заключение

Проведено сравнительное исследование противотуберкулезной активности аналогов конденсата гидразида изоникотиновой кислоты при лечении экспериментального туберкулеза у мышей. Установлена эффективность использования хлоргидроксидохитозанового комплекса с 1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном с включенным Co^{2+} в сравнении с хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном при лечении экспериментального туберкулеза. Выявлена иммуностимулирующая активность полимерного металлокомплекса, сравнимая с комплексом хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидрозоном. Полученные в эксперименте результаты могут использоваться при разработке современных методов лечения туберкулеза.

Настоящая работа выполнена за счет средств авторов.

Список литературы

- 1 Васильева И.А. Заболеваемость, смертность и распространенность как показатели бремени туберкулеза в регионах воз, странах мира и в Российской Федерации. — Ч. 1. Заболеваемость и распространенность туберкулеза / И.А. Васильева, Е.М. Белиловский, С.Е. Борисов, С.А. Стерликов // Туберкулез и болезни легких. — 2017. — № 95(6). — С. 9–21. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2017-95-6-9-21>.
- 2 Kumar V. Robbins Basic Pathology / V. Kumar, A.K. Abbas, N. Fausto. — 8th ed. — Saunders Elsevier, 2007. — 960 p.
- 3 Gibson P.G. Evidence-based respiratory medicine / P.G. Gibson, M. Abramson, R. Wood-Baker, J. Volmink, M. Hensley, U. Costabel. — Oxford: Blackwell, 2005. — 608 p.
- 4 Петров Р.В. Иммунология / Р.В. Петров. — М.: Медицина, 1982. — 368 с.
- 5 Сливкин А.И. Хитозан в качестве полимерной матрицы для иммобилизации лекарственных веществ с противотуберкулезной активностью / А.И. Сливкин, В.Л. Лапенко, А.А. Болгов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. — 2009. — № 5. — С. 36–39.
- 6 Кузнецов В.А. Хитозан и дезоксирахмал в качестве полимерных матриц для иммобилизации биологически активных компонентов / В.А. Кузнецов // Вестн. МИТХТ. — 2009. — № 3. — С. 42–47.
- 7 Архипов С.А. Антибактериальная эффективность пролонгированной лекарственной формы изониазида в эксперименте / С.А. Архипов, В.А. Шкурупий, Ю.Н. Курунов // Проблемы туберкулеза. — 1997. — № 2. — С. 54–56.
- 8 Шкурупий В.А. Изменения гранулемы при лечении туберкулеза пролонгированной формой изониазида в эксперименте / В.А. Шкурупий, Т.Г. Чернова, Ю.Н. Курунов // Проблемы туберкулеза. — 1993. — № 1. — С. 38–41.
- 9 Арзамасцев А.П. Способ получения 1-изоникотинил-2-D-глюкозилгидразона, обладающего противотуберкулезной активностью / А.П. Арзамасцев // Патент RU 2279438, 10.07.2005.
- 10 Сливкин А.И. Полимерные комплексы гидразида изоникотиновой кислоты противотуберкулезного действия / А.И. Сливкин, В.Л. Лапенко, А.И. Бычук, С.Н. Суслина, Д.А. Сливкин, С.В. Корниенко, А.С. Беленова // Бюл. экспер. биол. и мед. — 2013. — № 6. — С. 728–730.
- 11 Комаров Б.А. Способ получения водорастворимых форм хитозана / Б.А. Комаров, А.И. Албулов / Патент RU 2215749, 10.11.2003 г..
- 12 Обозова Л.А. Устойчивость в водных растворах и биологическая активность комплексов изоникотиноилгидразина и его ацетилпроизводного с Cu (II), Ni (II) и Co (II) / Л.А. Обозова, Н.М. Крымова // Хим.-фармацев. журн. — 1998. — Т. 22. №1. — С. 27–32.
- 13 Рашидова С.Ш. Способ получения полимерных комплексов переходных металлов / С.Ш. Рашидова, В.А. Ли, А.А. Ким // РЖХ. — 1980. — № 22. — С. 447.
- 14 Phyu Phyu, Win et al. Formulation and characterization of pH sensitive drug carrier based on phosphorylated chitosan (PCS) / Win, Phyu Phyu et al. // Carbohydrate Polymers. — 2003. — Vol. 53, No 3. — P. 305–310.

- 15 Хитин и хитозан. Природа, получение и применение / под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. — М.: Наука, 2010. — 292 с.
- 16 Шварценбах Г. Комплексонометрическое титрование / Г. Шварценбах, Г. Флашка. — М.: Химия, 1970. — 287 с.
- 17 Hanson J.C. Structure of a copper-isoniazid complex / J.C. Hanson, N. Camerman, A. Camerman // *J Med Chem.* — 1981. — V. 24, No 11. — P. 1369–71.
- 18 Jerne N.K. Plaque formation in agar by single antibody-producing cells / N.K. Jerne, A.A. Nordin // *Science.* — 1963. — Vol. 140, No 4. — P. 405–407.
- 19 Чернушенко Е.Ф. Макроскопическая оценка поражения внутренних органов морских свинок, зараженных туберкулезом / Е.Ф. Чернушенко, А.А. Чумак, Т.С. Гинзбург // *Проблемы туберкулеза.* — 1984. — № 5. — С. 53–55.

А.И. Сливкин, А.С. Беленова, С.В. Корниенко, Н.А. Дьякова, Ю.В. Добрина

Туберкулезгекарсы және иммунокүшейтуші әсері бар изоникотин қышқылы гидразидінің жаңа полимерлік кешендері

Туберкулез әлеуметтік маңызды аурулардың біріне жатады. Ғылыми әдебиеттерде фагоцитоздың аяқталуына ықпал ететін туберкулезгекарсы препараттарды иммобилизациялау үшін полимерлі матрицаларды қолданудың орындылығы негізделген. Тышқандардағы эксперименттік туберкулезді емдеу кезінде изоникотин қышқылы гидразидінің конденсаты аналогтарының туберкулезгекарсы белсенділігіне салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Эксперименттік туберкулезді емдеу кезінде хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-Д-глюкозилгидрозонмен салыстырғанда Co_2 + қосылған 1-изоникотинил-2-Д-глюкозилгидрозоны бар хлоргидроксихитозан кешенін пайдаланудың тиімділігі анықталды. Хитозан-кобальт-1-изоникотинил-2-Д-глюкозилгидрозон кешенімен салыстырылатын полимерлік металл кешенінің иммунокүшейткіш белсенділігі анықталды. Экспериментте алынған нәтижелер туберкулезді емдеудің қазіргі заманғы әдістерін әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: туберкулез, полимерлік металл кешені, хитозан, изониазид.

A.I. Slivkin, A.S. Belenova, S.V. Kornienko, N.A. Dyakova, Yu.V. Dobrina

New polymer complexes of isonicotinic acid hydrazide with anti-tuberculosis and immunostimulating effects

Tuberculosis refers to one of the socially significant diseases. The scientific literature justifies the feasibility of using polymer matrices to immobilize protuberculous drugs, which contributes to the completion of phagocytosis. Comparative study of antituberculosis activity of analogues of isonicotinic acid hydrazide condensate in treatment of experimental tuberculosis in mice was carried out. The effectiveness of using chlorohydroxychitosan complex with 1-isonicotinyl-2-D-glucosyl hydrosone with included Co_2 + has been established in comparison with chitosan-cobalt-1-isonicotinyl-2-D-glucosyl hydrosone in treating experimental tuberculosis. Immunostimulatory activity of polymer metal complex comparable to chitosan-cobalt-1-isonicotinyl-2-D-glucosyl hydrosone complex was revealed. The results obtained in the experiment can be used in the development of modern, treatment methods for tuberculosis.

Keywords: tuberculosis, polymer metal complex, chitosan, isoniazid.

References

- 1 Vasileva, I.A., Belilovskii, E.M., Borisov, S.E., & Sterlikov, S.A. (2017). Zaboлеваemost, smertnost i rasprostranennost kak pokazateli bremeni tuberkuleza v regionakh voz, stranakh mira i v Rossiiskoi Federatsii. Chast 1. Zaboлеваemost i rasprostranennost tuberkuleza [Incidence, mortality and prevalence as indicators of TB burden in WHO regions, countries of the world and in the Russian Federation. Part 1. Incidence and prevalence of tuberculosis]. *Tuberkulez i bolezni legkikh — Tuberculosis and lung diseases*, 95(6); 9–21. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2017-95-6-9-21> [in Russian].
- 2 Kumar, V., Abbas, A.K., & Fausto, N. (2007). *Robbins Basic Pathology*. 8th ed. Saunders Elsevier.
- 3 Gibson, P.G., Abramson, M., Wood-Baker, R., Volmink, J., Hensley, M., & Costabel, U. (2005). *Evidence-based respiratory medicine*. Oxford: Blackwell.
- 4 Petrov, R.V. (1982). *Immunologiya [Immunology]*. Moscow: Meditsina [in Russian].
- 5 Slivkin, A.I., Lapenko, V.L., & Bolgov, A.A. (2009). Hitozan v kachestve polimernoii matritsy dlia immobilizatsii lekarstvennykh veshchestv s protivotuberkuleznoi aktivnostiu [Chitosan as a polymer matrix for immobilization of drugs with anti-tuberculosis activity]. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii — Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, 5, 36–39 [in Russian].

- 6 Kuznecov, V.A. (2009). Hitozan i dezoksikrakhmal v kachestve polimernykh matrity dlia immobilizatsii biologicheski aktivnykh komponentov [Chitosan and deoxykrachmal as polymer matrices for immobilization of biologically active components]. *Vestnik Moskovskoi gosudarstvennoi akademii tonkoi khimicheskoi tekhnologii — Bulletin of Moscow State Academy of Fine Chemical Technology*, 3, 42–47 [in Russian].
- 7 Arkhipov, S.A., Shkurupii, V.A., & Kurunov, Yu.N. (1997). Antibakterialnaia effektivnost prolongirovannoi lekarstvennoi formy izoniazida v eksperimente [Antibacterial efficacy of extended dosage form of isoniazid in experiment]. *Problemy tuberkuleza — Tuberculosis problems*, 2, 54–56 [in Russian].
- 8 Shkurupii, V.A., Chernova, T.G., & Kurunov, Yu.N. (1993). Izmeneniia granulemy pri lechenii tuberkuleza prolongirovannoi formoi izoniazida v eksperimente [Changes in granuloma in the treatment of tuberculosis with a prolonged form of isoniazid in the experiment]. *Problemy tuberkuleza — Problems of tuberculosis*, 1, 38–41 [in Russian].
- 9 Arzamastsev, A.P. (2005). Sposob polucheniia 1-izonikotinil-2-D-gliukoziilgidrazona, obladaiushchego protivotuberkuleznoi aktivnostiu [A method of producing 1-isonicotinyl-2-D-glucosyl hydrazone having antituberculosis activity]. Patent RU 2279438, 10.07.2005 [in Russian].
- 10 Slivkin, A.I., Lapenko, V.L., Bychuk, A.I., Suslina, S.N., Slivkin, D.A., Kornienko, S.V., & Belenova, A.S. (2013). Polimerne kompleksy gidrazida izonikotinovoi kisloty protivotuberkuleznogo deistviia [Polymer complexes of isonicotinic acid hydrazide of antituberculous action]. *Biulleten eksperimentalnoi biologii i meditsiny — Bulletin of experimental biology and medicine*, 6, 728–730 [in Russian].
- 11 Komarov, B.A. & Albulov, A.I. (2003). Sposob polucheniia vodorostvorimykh form khitozana [Method for preparing water-soluble forms of chitosan]. Patent RU 2215749, 10.11.2003 [in Russian].
- 12 Obozova, L.A. & Krymova, N.M. (1998). Ustoichivost v vodnykh rastvorakh i biologicheskaiia aktivnost kompleksov izonikotinoilgidrazina i ego atsetilproizvodnogo s Cu (II), Ni (II) i Co (II) [Stability in aqueous solutions and biological activity of complexes of isonicotinoyl hydrazine and its acetyl derivative with Cu (II), Ni (II) and Co (II)]. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal — Chemical and Pharmaceutical Journal*, 22(1), 27–32 [in Russian].
- 13 Rashidova, S.Sh., Li, V.A., & Kim, A.A. (1980). Sposob polucheniia polimernykh kompleksov perekhodnykh [A method of producing polymer complexes of transition metals]. *Referativnyi zhurnal po khimii — Referential Journal in Chemistry*, 22, 447 [in Russian].
- 14 Phyu Phyu, Win et al. (2003). Formulation and characterization of pH sensitive drug carrier based on phosphorylated chitosan (PCS). *Carbohydrate Polymers*, 53(3); 305–310.
- 15 Skryabina, K.G., Vihorevoi, G.A., & Varlamova, V.P. (2010). *Khitin i khitozan. Priroda, poluchenie i primeneniie [Hitin and chitosan. Nature, production and application]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 16 Shvarcenbakh, G. & Flashka, G. (1970). *Kompleksonometricheskoe titrovaniie [Complexometric titration]*. Moscow: Khimiia [in Russian].
- 17 Hanson, J.C., Camerman, N., & Camerman, A. (1981). Structure of a copper-isoniazid complex. *J Med Chem.*, 24(11); 1369–1371.
- 18 Jerne, N.K. & Nordin, A.A. (1963). Plaque formation in agar by single antibody-producing cells. *Science*, 140(4); 405–407.
- 19 Chernushenko, E.F., Chumak, A.A., & Ginzburg, T.S. (1984). Makroskopicheskaiia otsenka porazheniia vnutrennikh organov morskiikh svinok, zarazhennykh tuberkulyozom [Macroscopic assessment of damage to internal organs of guinea pigs infected with tuberculosis]. *Problemy tuberkuleza — Tuberculosis problems*, 5, 53–55 [in Russian].

Information about authors

Slivkin, Alexey Ivanovich — Doctor of pharmaceutical sciences, Professor, Head of Department of Pharmaceutical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia; slivkin@pharm.vsu.ru;

Belenova, Alyena Sergeevna — Candidate of biological sciences, Docent of pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology, Voronezh State University, Voronezh, Russia; belenova@pharm.vsu.ru;

Kornienko, Sergey Vasiljevich — Candidate of medical sciences, Chief Doctor, Voronezh Regional Clinical TB Dispensary named after N.S. Pokhvisneva, Voronezh, Russia; mail4@vokptd.zdrav36.ru;

Dyakova, Nina Alexeevna — Candidate of biological sciences, Assistant of Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, Voronezh, Russia; ninotchka_V89@mail.ru;

Dobrina, Yulia Vladimirovna — Assistant of Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, Voronezh, Russia; dobrina@pharm.vsu.ru.

Е.М. Сүлеймен¹⁻⁵, Р.Н. Сүлеймен⁵, Б.М. Айкешев^{1,2,6*}

¹Казахский университет технологии и бизнеса, Астана, Казахстан;

²ТОО «Институт прикладной химии», Астана, Казахстан;

³Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан;

⁴ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан;

⁵Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан;

⁶Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

* Автор для корреспонденции: aikeshhev@gmail.com

Сравнительный анализ составов масла *Nigella sativa* (черный тмин) из Сирии и Пакистана методом хромато-масс-спектрометрии

В статье представлен анализ химических составов эфирного масла из *Nigella sativa* L. из Пакистана и Сирии. С использованием метода хромато-масс-спектрометрии (GC/MS) были выявлены и подробно проанализированы компоненты масла из обеих стран. Результаты показали незначительные различия в содержании химических компонентов между маслом тмина из Пакистана и Сирии. В эфирном масле из Пакистана выявлено повышенное содержание пальмитиновой кислоты, (Z)-9-октадеценоевой кислоты и метилового эфира (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (линолевая кислота, метиловый эфир), в то время как эфирное масло из Сирии содержит больше гептадекановой и олеиновой кислот. Эти результаты свидетельствуют о том, что местоположение влияет на химический состав масла тмина, что имеет важное значение для его медицинского и кулинарного использования. Известно наличие ряда других компонентов, включая α -Туйен, α -Пинен, β -Пинен, o -Пимен, m -Ментан-6,8-диен, лимонен, γ -Терпинен, *cis*-4-метокситуйан, лонгифолен, метилтетрадеканат и многие другие, которые могут оказывать разнообразные биологические эффекты. Эти результаты предоставляют важные данные для научного сообщества и промышленных предприятий, занимающихся производством и применением масла черного тмина. Знание различий в составе масла в зависимости от его происхождения способствует оптимизации производства и расширению возможностей для его медицинского и кулинарного использования. Результаты настоящего исследования предоставляют ценную основу для будущих исследований в области биохимии и медицинского применения масла черного тмина.

Ключевые слова: *Nigella sativa* L., Пакистан, Сирия, масло тмина, биологическая активность, сравнительный анализ, хромато-масс-спектрометрия.

Введение

Nigella sativa L. (черный тмин) — однолетнее растение родом из Средиземноморья. Относится к семейству *Ranunculaceae* (семейство Лютиковых). Широко используется в качестве лечебного растения во всем мире. Обычно её используют для лечения аллергических заболеваний. Семена применяются в качестве ароматизатора и консерванта. В исламских странах масло *N. sativa* признано одним из лучших лекарственных средств [1]. Известно, что состав масла семян *N. sativa* зависит от места произрастания [2, 3].

Семена черного тмина, или *N. sativa*, обладают бронхолитическими, гипотензивными, антибактериальными, противогрибковыми, болеутоляющими, противовоспалительными и иммуностимулирующими свойствами [4–6], гастропротекторным, гепатопротекторным, нефропротективным и нейропротекторным действием [7, 8].

Семена *N. sativa* используются в Германии, Франции и Азии в качестве пряности в кулинарии, особенно в Италии и Южной Франции, также как ветрогонное и мочегонное средство [9].

N. sativa культивируется в районах Афьона, Бурдура и Испарты в Турции. Семена продаются на рынках и используются в качестве приправы и лекарственной травы. Семена имеют состав, состоящий из 21 % белка, 35–5 жира, 5–5 влаги и 7 % золы, остальное — углеводы. В эфирном масле семян *N. sativa* были обнаружены соединения, обладающие противомикробной активностью [10]. Кроме того, эфирное масло обладает высокой эффективностью против грамположительных бактерий и *Fusarium moniliforme* [11], грамотрицательных бактерий, вирусов, шистосом [12, 13], содержит целый ряд биоактивных веществ (табл. 1) [14].

Цель данного исследования — найти отличия по составу масла семян *N. sativa* из Пакистана от масла семян *N. sativa* из Сирии, и в случае их нахождения, возможно ли охарактеризовать эти различия [2].

Т а б л и ц а 1

Химический состав масла семян *Nigella sativa*, полученные с использованием метода хромато-масс-спектрометрии

Место произрастания <i>Nigella sativa</i> L.	Компоненты	Литература
Иран	<i>транс</i> -анетол (38,3 %), <i>n</i> -Цимен (14,8 %), лимонен (4,3 %), карвон (4,0 %)	[15]
Индия	тимохинон (35,5 %), γ -Терпинен (27,46 %), тимол (7,43 %), 2,4-(10)-Туйадиен (4,74 %), пинокарвон (2,96 %)	[16]
Турция	β -Ситостерин (69,4 %), кампестерин (11,9 %), стигмастерол (18,6 %)	[10]
Индия	9-Эйкозин (63,04 %), линолевая кислота (13,48 %), пальмитиновая кислота (9,68 %), <i>n</i> -Цимол (2,54 %), тимохинон (1,86 %)	[17]
Марокко	холестерин (0,9 %), кампестерин (13,1 %), стигмастерол (17,8 %), β -ситостерин (49,4 %), $d5$ -авенастерин (12,4 %), $d7$ -стигмастерол (0,6 %), $d7$ -авенастерин (2,1 %)	[2]
Бангладеш	миристиновая кислота (0,23 %), пальмитиновая кислота (13,1 %), пальмитолеиновая кислота (0,28 %), стеариновая кислота (2,47 %), олеиновая кислота (21,8 %), <i>цис</i> -вакценовая кислота (1,18 %), линолевая кислота (57,0 %), линоленовая кислота (0,46 %), арахидиновая кислота (0,18 %), эйкозеновая кислота (0,39 %), эйкозодиеновая кислота (2,91 %), насыщенные кислоты (16,0 %), ненасыщенные кислоты (84,0 %)	[3]
Индия	α -Туйен (5,6 %), α -Пинен (1,4 %), сабинен (0,8 %), β -Пинен (1,7 %), α -фелландрен (0,1 %), α -Терпинен (0,2 %), <i>p</i> -Цимен (31,4 %), лимонен (1,0 %), 1,8-Цинеол (0,1 %), γ -Терпинен (0,2 %), терпинен-4-ол (1,0 %), тимохинон (37,6 %), борнилацетат (0,2 %), тимол (0,2 %), карвакрол (1,4 %), α -Лонгипинен (0,5 %), лонгифолен (2,0 %), тимогидрохинон (3,4 %), 10-Эпи- γ -эвдесмол (0,3 %), β -Эвдесмол (0,5 %), α -Эвдесмол (0,4 %)	[11]

Материалы и методы исследования

Методика метилирования масла

Получение метиловых эфиров из фракций выполняли в соответствии с ГОСТом [18].

Пробу фракции массой около 20–30 мг помещали в стакан, добавляли 2 мл гексана и 1 мл раствора метилата натрия в метаноле (получали растворением металлического натрия в метиловом спирте), двухфазную смесь перемешивали 30 мин, из верхнего (гексанового) слоя отбирали пробу на ГС/МС-анализ [19].

Определение компонентного состава

Определение компонентного состава масел проводили на газовом хроматографе Clarus-SQ 8 с масс-спектрометрическим детектором. Хроматографические условия: колонка капиллярная RestekRxi®-1 ms 0,25 мм x 30 м x 0,25 мкм; объем пробы: 1,0 мкл; газ-носитель He; скорость газ-носителя: 1 мл/мин; деление потока 1:25; t колонки: 45 °C (2 мин), подъем 1,5°C/мин до 200 °C, далее 15 °C/мин до 280 °C, изотермический режим при 280°C в течение 10 мин; t испарителя — 280 °C, масс-спектрометрический детектор: t — 240 °C, EI=70 eV; время сканирования с 4 до 120 мин; режим сканирования ионов 39–500 m/z . Процентное содержание компонентов вычисляли автоматически, исходя из площадей пиков общей хроматограммы ионов. Компоненты идентифицировали по масс-спектрам и времени удерживания, с использованием библиотеки NIST. Время удерживания компонентов пересчитывали относительно предельных углеводов.

Результаты и обсуждение

По литературным данным, основными компонентами масла *Nigella sativa* являются (*Z,Z*)-9,12-октадекадиеновая кислота, (*E*)-9-октадеценовая кислота, 11-октадеценовая кислота, пальмитиновая кислота, стеариновая кислота, *транс*-анетол, *n*-цимен, лимонен, карвон, тимохинон, γ -терпинен, тимол, β -ситостерин, 9-эйкозин, стигмастерол, линолевая кислота и кампестерин [10, 15–17].

Как видно из таблицы 2 и хроматограмм на рисунках 1 и 2, сравнительный анализ составов композиций *Nigella sativa*, произрастающих в Пакистане и Сирии, показал более высокое содержание в сырье из Пакистана в процентах пальмитиновой кислоты (11,2 против 8,1 %), (Z)-9-октадеценовой кислоты (37,0 против 0,04 %), 3,7,11,15-тетраметил-(E,E,E)-2,6,10,14-гексадекатетраен-1-ола ацетат, (2,1 против 0,8 %). А масло *Nigella sativa* из Сирии показало большее содержание гептадекановой кислоты (36,6 против 56,7 %) и олеиновой кислоты (2,0 против 24,8 %) (табл. 2).



Рисунок 1. Хроматограмма масла черного тмина из Пакистана



Рисунок 2. Хроматограмма масла черного тмина из Сирии

Химический состав эфирного масла из *Nigella sativa* семейства *Ranunculaceae* из Пакистана и Сирии

RI расч.	RI лит.	Компоненты	Содержание, %	
			Паки-стан	Сирия
916	929±2	α-Туйен	0,16	0,12
922	929±7	α-Пинен	0,03	0,03
963	979±2	β-Пинен	0,03	0,02
1013	1022±2	o-Цимен	0,50	0,30
1017	1027±3	m-Мента-6,8-диен	0,02	
1020	1031±4	Лимонен		0,02
1047	1060±3	γ-Терпинен	0,03	
1110	1120±N/A	цис-4-Метокситуйан	0,05	0,04
1390	1405±5	Лонгифолен	0,10	0,03
1728	1725±2	Метилтетрадеcanoат	0,15	0,11
1812	1816 iu	7,11-Гексадекадиен	0,03	
1828	1820±4	Метилловый эфир пентадеcanoвой кислоты	0,03	0,02
1902	1913±N/A	(Z)-Метилгексадек-11-еноат	0,22	
1967	1968±7	n-Гексадеcanoвая кислота (пальмитиновая кислота)	0,09	
1902	1899±11	Метилловый эфир (Z)-9-гексадеценовой кислоты		0,13
1930	1926±2	Метилпальмитат*	11,21	8,14
1992	2016±N/A	Метилловый эфир цис-10-гептадеценовой кислоты	0,04	0,02
2020	2028±2	Метилловый эфир гептадеcanoвой кислоты		0,04
2095	2092±4	Метилловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (линолевая кислота, метилловый эфир)	36,58	56,72
2020	2028±2	Метилловый эфир 15-метилгексадеcanoвой кислоты	0,05	
2114	2105±N/A	Метилловый эфир (Z)-9-октадеценовой кислоты		1,06
2106	2110±1	Метилловый эфир (E)-9-октадеценовой кислоты (олеиновая кислота, метилловый эфир)	37,02	0,04
2107	2115±N/A	Метилловый эфир 11-октадеценовой кислоты	1,96	24,76
2125	2128±4	Метилстеарат	3,52	3,93
2181	2184±0	9-Октадециновая кислота		0,02
2270	2255±N/A	Метил-8,11,14,17-эйкозатетраеноат		0,02
2290	2308 iu	Метил-(Z)-5,11,14,17-эйкозатетраеноат		0,02
2301	2302±N/A	3,7,11,15-Тетраметил-(E,E,E)-2,6,10,14-гексадекатетраен-1-ола ацета		0,02
2329	2306±N/A	Метилловый эфир цис-11,14-эйкозадиеновой кислоты	2,06	0,83
2334	2322±N/A	Метилловый эфир цис-11-эйкозеновой кислоты	0,73	0,25
2356	2329±5	метилловый эфир эйкозеновой кислоты	0,41	0,28
2353	2350±N/A	Метилловый эфир 2-[[2-[(2-этилциклопропил) метил] циклопропил] метил]-циклопропаноктановой кислоты		0,02
2324	2371±N/A	Этиловый эфир [R-(Z)]-12-гидрокси-9-октадеценовой кислоты		0,05
2110	2098±3	Метилловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-Октадекатриеновая кислота	0,06	
2471	2483 iu	Пентилловый эфир транс-9-октадеценовой кислоты		0,05
2301		Неидент. 1	0,04	0,01
2324		Неидент. 2	0,05	0,02
2320		Неидент.3		0,02
2364		Неидент.4		0,02
2464		Неидент.5		0,08
2317	2346±N/A	(Z,Z,Z)-8,11,14-Эйкозатриеновая кислота		0,04
2340	2360±3	цис-11-Эйкозеновая кислота	0,03	
2497	2510±N/A	Метилловый эфир цис-13,16-доксадиеновой кислоты	0,04	
2502	2508±N/A	Метилловый эфир (Z)-13-докозеновой кислоты	0,05	

2528	2528±3	Метиловый эфир докозановой кислоты	0,16	0,65
2616	2628±4	Метиловый эфир трикозановой кислоты	0,02	0,03
2712	2728±4	Метиловый эфир тетракозановой кислоты	0,09	0,25
2687	2710±N/A	Метиловый эфир (Z)-15-тетракозановой кислоты	0,06	
2800	2832±13	Сквален	0,02	
2909	2935±8	Метиловый эфир гексакозановой кислоты	0,02	
3069	3040±N/A	Стигмастан-3,5-диен	0,02	
3154	3150±N/A	β-Токоферол		0,03

*Примечание. Полужирным шрифтом выделены мажорные компоненты.

Заключение

Представлен анализ химического состава эфирного масла из *N. sativa* из Пакистана и Сирии. С использованием метода хромато-масс-спектрометрии были выявлены и подробно проанализированы компоненты масла из обеих стран.

Сравнительный анализ составов композиций *N. sativa*, произрастающих в Пакистане и Сирии, показал более высокое содержание в сырье из Пакистана в процентах пальмитиновой кислоты (11,2 против 8,1 %), (Z)-9-октадеценовой кислоты (37,0 против 0,04 %), 3,7,11,15-тетраметил-(Е,Е,Е)-2,6,10,14-гексадекатетраен-1-ола ацетат, (2,1 против 0,8 %), а масло *Nigella sativa* L. из Сирии показало большее содержание гептадекановой кислоты (36,6 против 56,7 %) и олеиновой кислоты (2,0 против 24,8 %).

Известно наличие ряда других компонентов, включая α-Туйен, α-Пинен, β-Пинен, о-Цимен, м-Ментан-6,8-диен, лимонен, γ-Терпинен, цис-4-метокситуйан, лонгифолен, метилтетрадеканоат и многие другие, которые могут оказывать разнообразные биологические эффекты.

Результаты данного исследования предоставляют ценную основу для будущих исследований в области биохимии и медицинского применения масла черного тмина.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679527).

References

- 1 Ashfaq S. *Nigella sativa* (Kalonji), its essential oils and their therapeutic potential / S. Ashfaq, N. Tabassum Khan, G. Mohammad Ali // Biomed J Sci & Tech Res. — 2021. — Vol. 33. — P. 25448–25454. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.33.005335>.
- 2 Gharby S.H. Chemical investigation of *Nigella sativa* L. seed oil produced in Morocco / S. Gharby, H. Harhar, D. Guillaume, A. Roudani, S. Boulbaroud, M. Ibrahimi, M. Ahmad, S. Sultana, T. Ben Hadda, I. Chafchaoui-Moussaoui, Z. Charrouf // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. — 2015. — Vol. 14. — P. 172–177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.12.001>.
- 3 Kabir Y. Nutritional composition of the indigenous cultivar of black cumin seeds from Bangladesh / Y. Kabir, H. Shirakawa, M. Komai // Progress in Nutrition. — 2019. — Vol. 21. — P. 428–434. <https://doi.org/10.23751/pn.v21i1-S.6556>.
- 4 Akram Khan M. Chemical composition of *Nigella sativa* Linn. / M. Akram Khan, M. Afza // Inflammopharmacology. — 2016. <https://doi.org/10.1007/s10787-016-0262-7>.
- 5 Akram Khan M. Chemical composition and medicinal properties of *Nigella sativa* Linn / M. Akram Khan // Inflammopharmacology. — 1999. — Vol. 7 (1). — P. 15–35.
- 6 Aboul-Enein H.Y. Simple HPLC Method for the Determination of Thymoquinone in Black Seed Oil (*Nigella sativa* Linn) / H.Y. Aboul-Enein, L.I. Abou-Basha // Journal of Liquid Chromatography. — 2006. — Vol. 18(5). — P. 895–902. <https://doi.org/10.1080/10826079508010400>.
- 7 Krishnapura S. Cumin (*Cuminum cyminum*) and black cumin (*Nigella sativa*) seeds: traditional uses, chemical constituents, and nutraceutical effects / S. Krishnapura // Food Quality and Safety. — 2018. — Vol. 2. — P. 1–16. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx031>.
- 8 Gali-Muhtasib H. The medicinal potential of black seed (*Nigella sativa*) and its components / H. Gali-Muhtasib, N. El-Najjar, R. Schneider-Stock // Advances in Phytomedicine. — 2005. — P. 133–153. [https://doi.org/10.1016/S1572-557X\(05\)02008-8](https://doi.org/10.1016/S1572-557X(05)02008-8)
- 9 Hedrick U.P. Sturtevant's edible plants of the world / U.P. Hedrick. — Dover, New York, 1972. — P. 388–389.
- 10 Nergiz C. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds / C. Nergiz, S. Otles // Food Chemistry. — 1993. — Vol. 48. — P. 259–261.
- 11 Singh S. Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.) / S. Singh, S.S. Das, G. Singh, C. Schuff, M.P. de Lampasona, C.A.N. Catalán // BioMed Research International. — 2014. — Vol. 2014. — P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/918209>

- 12 Forouzanfar F. Black cumin (*Nigella sativa*) and its constituent (thymoquinone): a review on antimicrobial effects / F. Forouzanfar, B.S. Fazly Bazzaz, H. Hosseinzadeh // Iran J Basic Med Sci. — 2014. — Vol. 17. — P. 929–938.
- 13 Aboul-Ela M.A. Antimicrobial evaluation and chromatographic analysis of some essential and fixed oils / M.A. Aboul-Ela, N. Al-shaer, N.B. El Din Ghanem // Pharmazie. — 1996. — Vol. 57 (12). — P. 993–994.
- 14 Hassanien M.M. Phytochemical contents and oxidative stability of oils from non-traditional sources / M.M. Hassanien, A.G. Abdel-Razek, M. Rudzinska, A. Siger, K. Ratusz, R. Przybylski // Eur. J. Lipid Sci. Technol. — 2014. — Vol. 116. — P. 1563–1571. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201300475>
- 15 Nickavara B. Chemical Composition of the Fixed and Volatile Oils of *Nigella sativa* L. from Iran / B. Nickavara, F. Mojaba, K. Javidniab, M.A. Roodgar Amoli // Z. Naturforsch. — 2003. — Vol. 58. — P. 629–631.
- 16 Kumar S. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide / S. Kumar, T. Venkatachallam, H. Pattekhan, S. Divakar, U.S. Kadimi // J Food Sci Technol. — 2010. — Vol. 47(6). — P. 598–605. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0109-y>
- 17 Dinakaran S. Chemical composition and antioxidant activities of black seed oil (*Nigella sativa* L.) / S. Dinakaran, S. Sridhar, P. Eganathan // IJPSR. — 2016. — Vol. 7(11). — P. 4473–4479. <http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>
- 18 ГОСТ 30418–96. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. 1998–01–01. — Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. — 5 с.
- 19 Потапов А.С. Исследование отходов производства растительного масла методом хромато-масс-спектрометрии / А.С. Потапов, С.А. Зуйкова // Ползунов. вестн. — 2014. — № 3. — С. 187–189.

Е.М. Сүлеймен, Р.Н. Сүлеймен, Б.М. Айкешев

Сирия мен Пәкістанның *Nigella sativa* (зире майы) майының хроматомасс-спектрометрия әдісімен құрамын салыстырмалы талдау

Мақалада Пәкістан мен Сирияның *Nigella sativa* L. эфир майының химиялық құрамының талдауы берілген. Хромато масс-спектрометрия (GC/MS) әдісін қолдана отырып, екі елдің май компоненттері анықталып, егжей-тегжейлі талданды. Нәтижесінде Пәкістан мен Сириядан келген зире майы арасындағы химиялық компоненттердің құрамындағы шамалы айырмашылықтарды көрсетті. Пәкістаннан алынған эфир майында пальмитин қышқылының, (Z)-9-октадецен қышқылының және метил эфирінің (Z,Z)-9,12-октадекадиен қышқылының (линол қышқылы, метил эфирі) жоғарылауы анықталды, ал Сириядан алынған эфир майында гептадекан қышқылы мен олеин қышқылы көп. Тәжірибеде анықталғандай, зире майының химиялық құрамына өскен жері де ықпал жасайды, бұл оның емдік және аспаздық қолданылуына маңызды әсер ететін көрсетеді. Зерттеуде бірқатар басқа компоненттердің бар екені белгілі болды, яғни α -туйен, α -пинен, β -пинен, *o*-цимен, *m*-ментан-6,8-диен, лимонен, γ -терпинен, *cis*-4-метокситуйан, лонгифолен, метилтетрадеканоатты қоса есептегенде және басқалардың да көптеген әртүрлі биологиялық әсерлері болуы мүмкін. Бұл нәтижелер қара зире майын өндірумен және қолданумен айналысатын ғылыми қауымдастық пен өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін маңызды деректерді ұсынады. Майдың шығу тегіне байланысты құрамындағы айырмашылықтарды білу өндірісті оңтайландыруға және оны медициналық және аспаздық мақсатта пайдалануға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *Nigella sativa*, Пәкістан, Сирия, зире майы, биологиялық белсенділік, салыстырмалы талдау, хроматография-масс-спектрометриясы (GC/MS).

Ye.M. Suleimen, R.N. Suleimen, B.M. Aikeshev

Comparative analysis of the compositions of *Nigella sativa* (black cumin) oil from Syria and Pakistan using gas chromatography-mass spectrometry

This article presents an analysis of the chemical composition of essential oil from *Nigella sativa* L. from Pakistan and Syria. Using gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS), oil components from both countries were identified and analyzed in detail. The results showed insignificant differences in the content of chemical components between cumin oil from Pakistan and Syria. The essential oil from Pakistan showed increased content of palmitic acid, (Z)-9-octadecenoic acid and (Z,Z)-9,12-octadecadienoic acid methyl ester (linoleic acid, methyl ester), while the essential oil from Syria contains more heptadecanoic acid and oleic acid. These results suggest that location influences the chemical composition of cumin oil, which has important implications for its medicinal and culinary uses. The study also revealed the presence of a number of other components, including α -thujene, α -pinene, β -pinene, *o*-cymene, *m*-menthane-6,8-diene, limonene, γ -terpinene, *cis*-4-methoxytujane, longifolene, methyltetradecanoate, and many others, which can have a variety of biological effects. These results provide important data for the scientific community and industries involved in the production and use of cumin oil. Knowing the differences in oil composition depending on its origin helps to optimize production and expand the possibilities for its medicinal and culinary use. The results

of this study provide a valuable basis for future research into the biochemistry and medicinal uses of cumin oil.

Keywords: *Nigella sativa*, Pakistan, Syria, cumin oil, biological activity, comparative analysis, gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS).

References

- 1 Ashfaq, S., Tabassum Khan, S.N., & Mohammad, Ali G. (2021). *Nigella sativa* (Kalonji), its essential oils and their therapeutic potential. *Biomed J Sci & Tech Res.*, 33; 25448–25454. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.33.005335>.
- 2 Gharby, S.H., Harhar, H., Guillaume, D., Roudani, A., Boulbaroud, S., Ibrahim, M., Ahmad, M., Sultana, S., Ben Hadda, T., Chafchaouani-Moussaoui, I., & Charrouf, Z. (2015). Chemical investigation of *Nigella sativa* L. seed oil produced in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14; 172–177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.12.001>.
- 3 Kabir, Y., Shirakawa, H., & Komai, M. (2019). Nutritional composition of the indigenous cultivar of black cumin seeds from Bangladesh. *Progress in Nutrition*, 21; 428–434. <https://doi.org/10.23751/pn.v21i1-S.6556>.
- 4 Akram Khan, M. & Afza, M. (2016). Chemical composition of *Nigella sativa* Linn. *Inflammopharmacology*. <https://doi.org/10.1007/s10787-016-0262-7>.
- 5 Akram Khan, M. (1999). Chemical composition and medicinal properties of *Nigella sativa* Linn. *Inflammopharmacology*, 7 (1); 15–35.
- 6 Aboul-Enein, H.Y. & Abou-Basha, L.I. (2006). Simple HPLC Method for the Determination of Thymoquinone in Black Seed Oil (*Nigella sativa* Linn). *Journal of Liquid Chromatography*, 18(5); 895–902. <https://doi.org/10.1080/10826079508010400>.
- 7 Krishnapura, S. (2018). Cumin (*Cuminum cyminum*) and black cumin (*Nigella sativa*) seeds: traditional uses, chemical constituents, and nutraceutical effects. *Food Quality and Safety*, 2; 1–16. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx031>.
- 8 Gali-Muhtasib, H., El-Najjar, N., & Schneider-Stock, R. (2005). The medicinal potential of black seed (*Nigella sativa*) and its components. *Advances in Phytomedicine*, 133–153. [https://doi.org/10.1016/S1572-557X\(05\)02008-8](https://doi.org/10.1016/S1572-557X(05)02008-8).
- 9 Hedrick, U.P. (1972). *Sturtevant's edible plants of the world*. Dover, New York, 388–389.
- 10 Nergiz, C. & Otles, S. (1993). Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds. *Food Chemistry*, 48; 259–261.
- 11 Singh, S., Das, S.S., Singh, G., Schuff, C., de Lampasona, M.P., & Catalán, C.A.N. (2014). Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). *BioMed Research International*, 2014, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/918209>.
- 12 Forouzanfar, F., Fazly Bazzaz, B.S., & Hosseinzadeh, H. (2014). Black cumin (*Nigella sativa*) and its constituent (thymoquinone): a review on antimicrobial effects. *Iran J Basic Med Sci.*, 17; 929–938.
- 13 Aboul-Ela, M.A., Al-shaer, N.N., & El Din Ghanem, B. (1996). Antimicrobial evaluation and chromatographic analysis of some essential and fixed oils. *Pharmazie.*, 57(12); 993–994.
- 14 Hassanien, M.M., Abdel-Razek, A.G., Rudzinska, M., Siger, A., Ratusz, A., & Przybylski, R. (2014). Phytochemical contents and oxidative stability of oils from non-traditional sources. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 116; 1563–1571. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201300475>.
- 15 Nickavara, B., Mojab, F., Javidniab, K., & Roodgar Amoli, M.A. (2003). Chemical Composition of the Fixed and Volatile Oils of *Nigella sativa* L. from Iran. *Z. Naturforsch.*, 58; 629–631.
- 16 Kumar, S., Venkatachallam, T., Pattekhani, H., Divakar, S., & Kadimi, U.S. (2010). Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide. *J Food Sci Technol.*, 47(6); 598–605. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0109-y>.
- 17 Dinakaran, S., Sridhar, S., & Eganathan, P. (2016). Chemical composition and antioxidant activities of black seed oil (*Nigella sativa* L.). *IJPSR*, 7(11); 4473–4479. <http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>.
- 18 (1998). GOST 30418-96. Masla rastitelnye. Metod opredeleniia zhirkokislotojnogo sostava. 1998–01–01 [State Standard 30418-96. Vegetable oils. Methods for determination of fat-oil composition]. Minsk: Intrastate soviet by standardization, metrology and certification [in Russian].
- 19 Potapov, A.S. & Zuikova, S.A. (2014). Issledovanie otkhodov proizvodstva rastitelnogo masla metodom khromato-masspektrometrii [Study of wastes of production of vegetable oils by method of chromat-mass-spectrometry]. *Polzunovskii vestnik — Polzunovskiy Vestnik*, 3, 187–189 [in Russian].

Information about authors

Suleimen, Yerlan Melsuly — Candidate of chemical sciences, Leading Researcher, Kazakh University of Business and Finance; Institute of Applied Chemistry, Astana, Kazakhstan; syerlan75@yandex.kz;

Suleimen, Raigul Nurbekkyzy — PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyev National University, Astana, Kazakhstan; suleimen_rn@enu.kz ;

Aikeshev, Bulat Musulmanbekovich — Candidate of biological sciences, Researcher, Kazakh University of Business and Finance, Institute of Applied Chemistry, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan; aikeshev@gmail.com.

М.Р. Айтжанова*, С.Б. Жапарова

Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

**Автор для корреспонденции: madina0794e@gmail.com*

Влияние весенних паводков на состояние почв Акмолинской области

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что проблема паводков в Акмолинской области является серьезной. Последствия паводков наносят ущерб не только социально-экономического характера, но и экологического. Сезонное повышение уровня воды в реках и дальнейшее затопление прилегающей местности влияют на агрохимическое состояние почвы, изменяются её структура, рельеф местности и биоценоз. Проблема заключается в том, что на сегодняшний день не уделяется внимания изучению именно экологических последствий паводков, а только дается оценка социально-экономическому ущербу, хотя ущерб экологический в долгосрочной перспективе нельзя недооценивать тоже. Одной из задач данного исследования ставится изучение влияния периодических паводков на состояние почвы, которые подверглись затоплению в поймах рек. Проводится оценка таких почв для принятия управленческих решений о дальнейшем использовании этих территорий. Объектом исследования данной статьи выступают земли в пойме р. Жабай, которая является правым притоком реки Ишим в Акмолинской области. Предметом исследования является изменение почвы под воздействием паводков. Цель научной статьи — оценить характер влияния паводков на состояние почвы и выработать рекомендации дальнейшему использованию почв, подвергшихся затоплению. Был проведен анализ почв осенью, летом и весной в течение нескольких лет, и приведены результаты анализа химического и морфологического состояния почв в динамике. Показано, как изменялось состояние почв в пойме р. Жабай в результате паводков.

Ключевые слова: паводки, река Жабай, почва, деградация почв, металлы в почве, состояние почв, последствия паводков, экология.

Введение

Наводнения рассматриваются как многоаспектная глобальная проблема в научных исследованиях автора А.Б. Авакяна [1], который является крупнейшим специалистом в области комплексного использования водных ресурсов, водохранилищ и наводнений. Изучение его исследований о наводнениях в мире показывает, что устранение ущерба последствий в большинстве случаев возрастает, и до сих пор отсутствуют полноценные и комплексные системы мониторинга и анализа данных бедствий.

В масштабе Земного шара комплексную работу по сбору данных о наводнениях с 1996 года ведет Дартмутская обсерватория при Ганноверском колледже в США [2]. Сбор данных осуществляется на постоянной и систематической основе. Однако коллектив обсерватории занимается лишь первичным анализом данных.

Н.Д. Киселева, В.В. Штанцова и Е.И. Басина [3] в своей работе подчеркивают, что недостаточное внимание уделяется последствиям паводков на землю. Следует собирать информацию об этом и рассматривать паводки как глобальное многоаспектное явление. Исследования проводились в Тулунском районе Иркутской области. Их исследование показало, что паводки оказывают как негативное, так и благоприятное воздействие на почву. Разные участки территории показали разные результаты.

Н.В. Тютюма, проведя свои исследования на предмет влияния весенних паводков реки Волги на миграцию тяжелых металлов в почве Волго-Ахтубинской поймы, отмечает, что в результате половодья концентрация тяжелых металлов в почве снизилось [4].

Делались замеры углерода и азота в почве, которые подвергаются затоплению в поймах рек. Чем чаще почва подвергалась затоплению, тем выше зафиксирован уровень углерода и азота в почве [5].

М.Д. Утешкалиев и Р.Б. Ахметов [6] считают, что наиболее существенной чертой генезиса пойменных почв Атырауской области является протекание почвообразования под влиянием периодического затопления паводковыми водами с аккумуляцией вымученности материалов на поверхности почвы.

М.Н. Истомина в своей статье «Экологические последствия наводнений» [7] дает комплексный и всесторонний анализ последствий наводнений. Указывает на то, что, кроме социально-экономических последствий наводнений, выявляются также экологические, которые могут быть как положительного, так и отрицательного характера влияния на экосистему и компонентов ландшафта. Особенно эти изменения ландшафта проявляются в поймах рек.

А.С. Корляков, В.И. Ознобихин и М.А. Зверева [8] в своем исследовании отмечают, что эрозия почв от наводнений и паводков определяется уровнем смывости почв; были составлены карты эрозийных процессов на ландшафт и почву в бассейнах рек. Сделаны расчеты ущербов от потерь плодородия и трансформации угодий. Помогает защитить почвенный покров от водной эрозии естественный пойменный растительный покров. Такие почвы поддаются в меньшей степени эродированности. Почвы, которые состоят из легко размываемых грунтов или находятся на уклонах, намного легче подвергаются водной эрозии.

Поэтому разные почвы по степени подверженности эрозии имеют разный риск потерять запасы гумуса в почве. Так в почвах, подверженных сильным эрозиям, потери гумуса могут составлять от 10 до 75 %, а в некоторых случаях и полностью может быть смыт водой. М.Н. Истомина [9] в своем исследовании указывает на то, что потери гумуса, в зависимости от разного генезиса почв, могут достигать от 54 до 270 т/га. А это напрямую влияет на плодородие и растительный мир. Заметно снижается уровень макроэлементов в почве, таких как азот, фосфор, калий.

Среди ученых проблема влияния паводков и наводнений на уровень плодородия почв вызывает особый интерес. Е.П. Воронова [10] при изучении речных наносов и паводков в поймах рек Иртыш, Днепр, Оки, Енисей выявила взаимосвязь между плодородием почв и речными паводками. В результате были получены данные о том, что если продолжительность половодий не превышает 20–25 дней, а мощность наносов находится в невысоких пределах около 0,1–0,7 см, то это оказывает благоприятный эффект на биогенные характеристики почвы.

По другим исследованиям автора Л.И. Кораблева [11], при изучении весенних паводков реки Оки, которые длятся до 60 дней, речные наносы характеризуются широким слоем (до 12 см в прирусловой зоне). Данные наносы часто состоят из песчаных частиц, которые не обладают питательными веществами, и, следовательно, на плодородные слои почвы наносится толстый слой песка, и значительная часть плодородия теряется. А в результате минерализации почв, которая возникает в процессе длительного затопления, происходит изменение типа почвы, и она становится менее пригодна или даже полностью непригодна в сельскохозяйственных целях. Те земли, которые подверглись более длительному затоплению (более 30 дней), становятся глинистыми, засоленными, в них начинается происходить процесс заболачивания и уплотнение грунта. Все эти процессы негативно сказываются на уровне плодородия.

Материалы и методы

В исследовании использовались методы анализа научных публикаций по теме исследования: сбор, анализ, обобщение и группировка данных о паводковых ситуациях в Акмолинской области, а также методы сравнительного анализа данных и гидрологического наблюдения.

Материалы исследования: доклады Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов; гидрологические прогнозы, отчеты и информация от РГП «Казгидромет»; планы мероприятий и отчеты о прохождении паводковых периодов от Департамента по чрезвычайным ситуациям и Управления природных ресурсов Акмолинской области, другие документы.

В период с 2018 по 2021 годы проводился мониторинг влияния паводков на состояние почвы в пойме реки Жабай. С этой целью были проведены следующие виды анализов, а именно проанализированы:

- морфологические свойства почвы;
- химические и физические свойства почвы;
- содержание металлов в почве;
- кислотно-щелочной баланс почвы и содержание гумуса.

При изучении морфологических свойств почвы был применен основной метод — макроморфологический (изучение почвы невооруженным глазом). Кроме этого, использовалась копка земли до 1 м, чтобы изучить профиль земли, выявить основные (зональные) параметры морфологического строения генетического профиля почв района практики.

Для определения химического состава почв проводился отбор проб почвы согласно ГОСТа 17.4.4.02–2017 «Отбор проб почвы для химического анализа» [12]. Точечные пробы почвы отбирали шпателем одноразово с глубины 5–30 см на пробных площадках из одного горизонта методом конверта и составляли объединенную пробу путем их смешивания (масса не менее 1 кг). Определение тяжелых металлов было выполнено атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре фирмы Hitachi AAS 180–50 с пламенной атомизацией. Каждую пробу определяли на наличие кадмия, кобальта, никеля, марганца, цинка, железа и хрома.

Результаты и обсуждение

Весной, когда начинается таяние снега, снег тает быстрее, чем лед на реке, и талая вода по замерзшей земле стекает в реку Есиль. За 2–3 недели быстрого таяния снега река достигает расхода 1000 м³ воды в секунду и более в районе Астаны и до 1700 м³ в секунду ниже по течению в Атбасаре на реке Жабай, где уровень воды может повышаться на 6 м, нанося значительный ущерб инфраструктуре и имуществу. Когда в регионе наступает внезапное потепление, половодье может усиливаться довольно быстро, что затрудняет прогнозирование сроков и масштаба явления. Ежедневные гидрологические прогнозы, наряду с данными измерений, могут предупредить о предстоящем наводнении, однако прогнозировать масштаб половодья сложно [13].

Даты начала, пика и окончания весеннего половодья по рекам Акмолинской области за 2012–2016 гг. взяты из данных Казгидромета (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Хронология весенних паводков на реке Жабай за 2012–2016 гг.

Река-пункт	Даты	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Р. Жабай – с. Балкашино, Сандыктауский район	Начало	28.03	03.04	31.03	10.04	02.04
	Пик	05.04	11.04	10.04	13.04	07.04
	Окончание	24.04	18.04	10.05	30.04	02.05
Р. Жабай – г. Атбасар, Атбасарский район	Начало	29.03	29.03	31.03	11.04	31.03
	Пик	07.04	12.04	10.04	17.04	08.04
	Окончание	24.04	03.05	01.05	01.05	04.05

Более свежие данные Казгидромета по весенним паводкам по р. Жабай представлены ниже:

- на 17.04.2017 г. зафиксировано максимальное значение поднятия уровня 6,1 м (*критическая отметка 3,45 м, подтоплено 450 домов*), объем влагозапасов на начало активного снеготаяния составлял 827 млн м³;

- на 14.04.2018 г. зафиксировано максимальное значение поднятия уровня 3,6 м (*критическая отметка 3,45 м, подтопленей домов не допущено*), объем влагозапасов на начало активного снеготаяния составлял 784 млн м³;

- на 07.04.2019 г. зафиксировано максимальное значение поднятия уровня 3,7 м (*критическая отметка 3,45 м*), объем влагозапасов на начало активного снеготаяния составлял 427 млн м³ [**Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.**].

Сравнивая сведения 2017 и 2018 годов, видим, что объемы влагозапасов практически одинаковы, но фактические объемы прохождения и максимальные уровни воды в реке Жабай существенно

разнятся, учитывая и тот фактор, что уровень воды в 2017 году достиг пикового значения за 15 дней, в 2018 году — за 3 дня.

По сведениям за 2018 и 2019 годы, объем влагозапасов в 2019 году практически в 2 раза меньше, чем в 2018 году, по факту максимальные уровни воды в реке в 2019 году выше на 0,1 м, уровень воды в 2019 году достиг пикового значения за 5 дней, в 2018 году — за 3 дня, следовательно, исходя из этого, объемы прохождения воды по руслу реки должны быть больше чем в 2018 году, что противоречит сведениям Казгидромета о спрогнозированных объемах влагозапасов.

В 2020 и 2021 годах, благодаря тщательной подготовке к весенним паводкам, не было зафиксировано подтопление жилых домов в целом по области.

Атбасарский район [15] Акмолинской области входит в число территорий с относительно малой биомассой растений. Сохранение растительных остатков и мульчи на поверхности почвы защищает почву от эрозии, сохраняет почвенную влагу и регулирует температуру почвы. Эрозионно-опасные поля — это поля, незащищенные растительностью, большие по размерам с гладкой, выровненной поверхностью и склоновые земли. Охрана почв от эрозии должна иметь долгосрочный характер. Для контроля ветровой и водной эрозии почв эффективно полосное размещение различных сельскохозяйственных культур поперек склона, включая почвозащитные. То есть Атбасарский район подвержен ветровой и водной эрозией в определенной степени.

Почвы Атбасарского района в основном темно-каштановые [16]. В регионе основной вид деятельности населения — сельское хозяйство. Особенностью региона является то, что большая часть земель находится в виде пашни под посевы зерновых и масличных культур. Те земли, которые не распаханы, отведены под пастбища для выпаса скота местных ферм и населения.

В целом данная территория возле г. Атбасара и реки Жабай относится к засушливой степной зоне. В силу климатических особенностей и антропогенных факторов и нагрузки на пастбища имеются очаги деградации почвы. Климат является резко континентальным с коротким летом и суровой зимой и сильными ветрами, отсутствуют лесные насаждения. Среднее количество осадков 220–280 мм в год.

Морфологический профиль данных почв сложен из среднесуглинистого гранулометрического состава; окраска в верхних горизонтах однородная, а в горизонте В2 имеет более неоднородную окраску — серовато-бурую; комковато-зернистую структуру в верхних горизонтах, в нижних горизонтах преобладает ореховато-призматическая структура.

Т а б л и ц а 2

Химические и физические свойства темно-каштановых почв в районе реки Жабай

Горизонт, разрез	Гумус, %	Плотность почвы, г/см ³	рН	Содержание обменного кальция и магния мг. экв 100 г почвы
А 0–20 см	3,6	1,22	6,9	22,1
В1 20–40 см	3,55	1,41	7,2	22,45
В2 40–55 см	2,95	1,52	7,41	26,8
Вк 55–75 см	2,7	1,59	7,8	27,3
С более 75 см	0,7	1,64	8,2	24,9

Как следует из таблицы 2, в зависимости от глубины земли, плотность увеличивается, в верхних слоях почвы кислотность почти нейтральная (6,9), в нижних слоях становится щелочной (до 8,2). В составе обменных оснований преобладают кальций и магний. Содержание Са+Мг в почве на горизонте А он составляет 22,1 мг. экв 100 г почвы. В средних слоях возрастает и достигает показателя 27,3 мг.экв. 100 г почвы.

Было проведено исследование почвы в пойме реки Жабай на предмет оценки наличия и уровня тяжелых металлов до и после паводков (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Содержание тяжелых металлов в почве в период 2018–2021 гг. в среднем

Металл, мг/кг	ПДК, мг/кг	Период	Участок 1	Участок 2	Превышение ПДК по участкам	
					1	2

Zn	70	Весна	72,7	80,05	2,7	10,05
		Лето	27,9	34,93	-	-
		Осень	58,5	67,78	-	-
Продолжение таблицы 3						
Cd	3	Весна	0,41	0,37	-	-
		Лето	0,32	0,49	-	-
		Осень	0,35	0,38	-	-
Ni	58	Весна	32,17	51,2	-	-
		Лето	29,77	37,35	-	-
		Осень	49,38	49,1	-	-
Co	25	Весна	7,87	7,13	-	-
		Лето	7,65	11,44	-	-
		Осень	12,54	17,85	-	-
Cr	120	Весна	21,85	40,12	-	-
		Лето	14,52	16,11	-	-
		Осень	30,1	26,81	-	-
Fe	500	Весна	2142,1	2054,0	1642,1	1554
		Лето	795,3	798,65	295,3	298,65
		Осень	2612,1	2205,2	2112,1	1705,2
Mn	800	Весна	191,3	217,8	-	-
		Лето	142,2	151,6	-	-
		Осень	225,16	342,09	-	-

Проведенный анализ проб показал, что содержание металлов в почве после паводков снижается. Наибольшее превышение допустимой нормы металлов было отмечено по железу. Весной *Fe* составлял на двух участках в пойме реки Жабай 2142,1 мг/кг и 2054 мг/кг на первом и втором участках соответственно. После паводков содержание железа в почве значительно снижалось и достигало уровня 795,3 мг/кг и 798 мг/кг на первом и втором участке. Осенью уровень железа снова возрастал и превышал уровень весенних показателей (2612,1 мг/кг, 2205,2 мг/кг). В течение лета происходит повторное загрязнение почв (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Изменение содержания металлов в почве после паводков (г/кг и проценты)

Металл, г/кг	Участок 1, г/кг	Участок 2, г/кг	Участок 1, %	Участок 2, %
Zn	-44,8	-45,12	-62	-56
Cd	-0,09	0,12	-22	32
Ni	-2,40	-13,85	-7	-27
Co	-0,22	4,31	-3	60
Cr	-7,33	-24,01	-34	-60
Fe	-1 346,80	-1 255,35	-63	-61
Mn	-49,10	-66,20	-26	-30

Проведя сравнительный анализ изменений содержания металлов в почве, было выяснено, что содержание цинка после паводка снижалось на 62 и 56 % по каждому участку, кадмия на первом участке сократился на 22 %, а на втором участке повысился на 32 %, никель снизился на 7 и 27 %, кобальт на втором участке повысился на 60 %, а на первом незначительно сократился (-3 %). По остальным металлам также наблюдается сокращение в содержании почв обоих участков. Так, например, хром (-34 %, -60 %), железо (-63 %, -61 %), марганец (-26 %, -30 %). Таким образом, по всем металлам, кроме кобальта и кадмия, наблюдается сокращение после весенних паводков. Превышение норм было отмечено по цинку и железу на обоих участках.

З а к л ю ч е н и е

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что однозначно паводки оказывают влияние на качество почвы и уровень содержания металлов в ней. Однако многое зависит от рельефа земли, объема воды во время паводков, продолжительности и частоты паводков, расти-

тельности и плотности грунта. Все эти факторы необходимо учитывать при прогнозировании последствий паводков на состояние почв, которые подвергаются затоплению. В исследовании было отмечено, что чем продолжительнее паводки (более 30 дней), тем негативнее их последствия на состояние почвы и их пригодность в дальнейшем. Поэтому не всегда паводки негативно сказываются на состоянии почв, которые подверглись затоплению. Если рельеф равнинный, то не происходит сильного размыва гумусного слоя в верхних слоях почв. В результате паводков снижается уровень тяжелых металлов в почве. Паводковые воды растворяют микроэлементы в почве и способствуют их миграции. Кроме этого, на изменение качества земли влияет уровень загрязнения окружающей территории.

References

- 1 Авакян А.Б. Наводнения как глобальная многоаспектная проблема / А.Б. Авакян, М.Н. Истомина // Вестн. РАН. — 2002. — Т. 72, № 12. — С. 1–21.
- 2 Dartmouth Flood Observatory. Hanover. [Electronic resource]. — Access mode: <http://dartmouth.edu/floods/>
- 3 Кисилева Н.Д. Влияние паводковых вод на агрохимические показатели почв сельскохозяйственного назначения / Н.Д. Кисилева, В.В. Штанцова, Е.И. Баснина // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. — Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. — С. 272–280.
- 4 Тютюма Н.В. Влияние весеннего половодья р. Волги на миграцию тяжелых металлов в почвах Волго-Ахтубинской поймы / Н.В. Тютюма // Изв. Нижневолж. агроун-го комплекса: аука и высшее профессиональное образование. — 2018. — № 4 (52). — С. 140.
- 5 Junhong B. Effects of flooding frequencies on soil carbon and nitrogen stocks in river marginal wetlands in a ten-year period / B. Junhong, Yu Lu, D. Shudong, W. Zhuoqun, L. Yating, Z. Ling, Z. Guangliang, W. Xin // Journal of Environmental Management. — 2020. — Vol. 267. — 110618. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110618>
- 6 Утешкалиев М.Д. Условия формирования почв р. Урал Атырауской области Республики Казахстан / М.Д. Утешкалиев, Р.Б. Ахметов // Материалы VIII Междунар. науч. интернет-конф. «Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири». — Томск, 2016. — С. 153–157.
- 7 Истомина М.Н. Экологические последствия наводнений / М.Н. Истомина, А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева, К.Е. Никитская // Инженерная экология. — 2004. — № 4. — С. 3–19.
- 8 Корляков А.С. Рекомендации по оценке ущербов от эрозии и потерь плодородия почв в долинах рек при наводнении / А.С. Корлякова, В.И. Ознобихин, М.А. Зверева. — Владивосток, 2002. — 42 с.
- 9 Истомина М.Н. Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия / М.Н. Истомина, А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева // Водные ресурсы. — 2005. — Т. 32, № 4. — С. 389–398.
- 10 Воронова Е.П. Экологические особенности использования пойменных ландшафтов / Е.П. Воронова // Экология и земледелие. — 1980. — С. 96–106.
- 11 Кораблева Л.И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны / Л.И. Кораблева. — М., 1969. — 278 с.
- 12 ГОСТ 17.4.4.02–2017. «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». — Электронный ресурс. — Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/29438/>.
- 13 Изменение климата и гидрология в Центральной Азии: исследование отдельных речных бассейнов // Региональный экологический центр Центральной Азии. — 2019. — Электронный ресурс. — Режим доступа: <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2020/03/CA.D.308-Izmenenie-klimata-i-gidrologija-v-Centralnoj-Azii-issledovanie-otdelnyh-rechnyh-bassejnov.pdf>.
- 14 Данные и отчеты Казгидромета. — Электронный ресурс. — Режим доступа: <https://www.kazhydromet.kz/ru/>.
- 15 Особенности проведения весенне-полевых работ в хозяйствах Акмолинской области в 2020 году (рекомендации). — Шортанды–1, 2020. — 41 с.
- 16 Байшоланов С.С. Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: науч.-прикл. справоч. / С.С. Байшоланов. — Астана, 2017. — 133 с.

М.Р. Айтжанова, С.Б. Жапарова

Ақмола облысының топырақ жағдайына көктемгі су тасқынының әсері

Зерттеу тақырыбының өзектілігі Ақмола облысындағы су тасқыны мәселесінің күрделі екендігіне байланысты. Су тасқынының салдары тек әлеуметтік-экономикалық сипатқа ғана емес, сонымен бірге экологиялық сипатқа да зиян тигізеді. Өзендердегі су деңгейінің маусымдық көтерілуі және іргелес аймақты одан әрі су басуы топырақтың агрохимиялық жағдайына әсер етеді, оның құрылымы, жергілікті жердің бедері және биосенозі өзгереді. Мәселе мынада, бүгінгі таңда су тасқынының экологиялық зардаптарын зерттеуге көңіл бөлінбейді, тек әлеуметтік-экономикалық залалды бағалау ғана жүргізілуде, дегенмен ұзақ мерзімді перспективада қоршаған ортаға келтірілген залалды да бағаламау

мүмкін емес. Бұл зерттеудің міндеттерінің бірі — өзен алқабының топырағын су басқан жағдайда мерзімді су тасқынының әсерін зерттеу. Осы аумақтарды одан әрі пайдалану туралы басқарушылық шешімдер қабылдау үшін топыраққа бағалау жүргізілді. Мақаланың нысаны Ақмола облысындағы Есіл өзенінің оң саласы болып табылатын Жабай өзенінің алқабындағы жер. Зерттеу тақырыбы — су тасқынының әсерінен топырақтың өзгеруін зерттеу. Мақаланың мақсаты су тасқынының топырақ жағдайына әсер ету сипатын бағалау және су басқан топырақты одан әрі пайдалану бойынша ұсыныстар әзірлеу. Бірнеше жыл бойы күзде, жазда және көктемде топырақ талдауы жүргізілді және динамикада топырақтың химиялық және морфологиялық жағдайын талдау нәтижелері берілген. Су тасқыны нәтижесінде Жабай өзені алқабындағы топырақтың жай-күйі қалай өзгергені көрсетілген.

Кілт сөздер: су тасқыны, Жабай өзені, топырақ, топырақтың тозуы, топырақтағы металдар, топырақ жағдайы, су тасқынының салдары, экология.

M.R. Aitzhanova, S.B. Zhaparova

The influence of spring floods on the soil condition of Akmola region

The relevance of the research topic is due to the fact that the problem of floods in Akmola region is serious. The effects of floods are damaging not only socio-economic but also environmental. Seasonal increases in river levels and further flooding of the surrounding area affect the agrochemical condition of the soil, changing its structure, terrain and biocenosis. The problem is that, to date, no attention has been paid to the study of the environmental impact of floods, but only to the assessment of socio-economic damage, although long-term environmental damage cannot be underestimated either. One of the objectives of this study is to study the impact of recurrent floods on soil conditions that have been flooded in flood plains. Such soils are assessed for management decisions on the future use of these areas. The object of the study of this article are the lands in the floodplain of the Zhabai River, which is the right tributary of the Ishim River in Akmola region. The subject of the study is changes in soil due to floods. The aim of the scientific article is to assess the nature of the impact of floods on the state of the soil, and to develop recommendations for the further use of soils that have been flooded. Soil analyses were carried out in autumn, summer and spring over several years, and the chemical and morphological status of soils was analyzed in dynamics. It is shown how the condition of soils in the floodplain of the Zhabai River changed as a result of floods.

Keywords: floods, Zhabai river, soil, soil degradation, metals in the soil, soil condition, flood effects, ecology.

References

- 1 Avakian, A.B. & Istomina, M.N. (2002). Navodneniia kak globalnaia mnogoaspektnaia problema [Floods as a global multi-dimensional problem]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk — Bulletin of Russian Academy of Science*, 72 (12), 1–21 [in Russian].
- 2 (2020). *Dartmouth Flood Observatory*. Hanover. Retrieved from <http://dartmouth.edu/floods/>.
- 3 Kisileva, N.D., Shtancova, V.V., & Basnina, E.I. (2021). Vliianie pavodkovykh vod na agrokhimicheskie pokazateli pochv selskokhoziaistvennogo naznacheniiia [Impact of flood waters on agrochemical indicators of agricultural soils]. *Pochva kak sviazuiushchee zveno funktsionirovaniia prirodnikh i antropogenno-preobrazovannykh ekosistem: materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii — Soil as a connecting link in the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: materials of the V International Scientific and Practical Conference*. Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi universitet, 272–280 [in Russian].
- 4 Tiutjuma, N.V. (2018). Vliianie vesennego polovodia r. Volgi na migratsiiu tiazhelykh metallov v pochvakh Volgo-Akhtubinskoi poimy [Influence of spring flood of Volga river on migration of heavy metals in the soils of the Volgo-Akhtubinsky floodplain]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie — Proceedings of Nizhniy Novgorod agro-university complex: science and higher professional education*, 4(52), 140 [in Russian].
- 5 Junhong, B., Lu, Yu., Shudong, D., Zhuoqun, W., Yating, L., Ling, Z., Guangliang, Z., & Xin, W. (2020). Effects of flooding frequencies on soil carbon and nitrogen stocks in river marginal wetlands in a ten-year period. *Journal of Environmental Management*, 267; 110618. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110618>
- 6 Uteshkaliev, M.D. & Akhmetov, R.B. (2016). Usloviia formirovaniia pochv r. Ural Atyrauskoii oblasti Respubliki Kazakhstan [Conditions of soil formation of Ural river of Atyrau region of the Republic of Kazakhstan]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchnoi internet-konferentsii «Lesnoe khoziaistvo i zelenoe stroitelstvo v Zapadnoi Sibiri» — Materials of VIII International scientific internet-conference “Forestry and green building in Western Siberia”*. Tomsk, 153–157 [in Russian].
- 7 Istomina, M.N., Kocharian, A.G., Lebedeva, I.P., & Nikitskaia, K.E. (2004). Ekologicheskoe posledstviia navodnenii [Environmental impact of floods]. *Inzhenernaia ekologiya — Engineering ecology*, 4, 3–19 [in Russian].
- 8 Korliakov A.S., Oznobihin, V.I., & Zvereva, M.A. (2002). *Rekomendatsii po otsenke ushcherbov ot erozii i poter plodorodiiia pochv v dolinakh rek pri navodneniiakh [Recommendations for assessing erosion damage and soil loss in river valleys during floods]*. Vladivostok [in Russian].
- 9 Istomina, M.N., Kocharian, A.G., & Lebedeva, I.P. (2005). Navodneniia: genesis, sotsialno-ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviia [Floods: genesis, socio-economic and environmental impacts]. *Vodnye resursy — Water resources*, 32 (4), 389–398 [in Russian].

10 Voronova, E.P. (1980). *Ekologicheskie osobennosti ispolzovaniia poimennykh landshaftov [Environmental features of the use of floodplain landscapes]. Ekologiya i zemledelie — Environment and farming*, 96–106 [in Russian].

11 Korableva, L.I. (1969). *Plodorodie, agrokhimicheskie svoistva i udobrenie poimennykh pochv Nechernozemnoi zony [Fertility, agrochemical properties and fertilization of floodplain soils of the Nonferrous zone]*. Moscow [in Russian].

12 (2019). GOST 17.4.4.02–2017. «Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlia khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gelmintologicheskogo analiza» [Euro-Asian council for standardization, metrology and certification (EASC) 17.4.4.02-2017. “Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological and helminthological analysis”]. Retrieved from <https://internet-law.ru/gosts/gost/29438/> [in Russian].

13 (2019). *Izmenenie klimata i gidrologiia v Tsentralnoi Azii: issledovanie otdelnykh rechnykh basseinov [Climate change and hydrology in Central Asia: selected river basins]. Regionalnyi ekologicheskii tsentr Tsentralnoi Azii — Regional environmental center of Central Asia*. Retrieved from <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2020/03/CA.D.308-Izmenenie-klimata-i-gidrologija-v-Centralnoj-Azii-issledovanie-otdelnyh-rechnyh-bassejnov.pdf> [in Russian].

14 *Dannye i otchety Kazgidrometa [Data and reports of Kazgidromet]*. Retrieved from <https://www.kazhydromet.kz/ru/> [in Russian].

15 (2020). *Osobennosti provedeniia vesenne-polevykh rabot v khoziaistvakh Akmolinskoi oblasti v 2020 godu (rekomentatsii) [Features of spring field work in Akmola region in 2020 (recommendations)]*. Shortandy-1 [in Russian].

16 Baisholanov, S.S. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Akmolinskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik [Agroclimatic resources of Akmola region: scientific and applied reference book]*. Astana [in Russian].

Information about authors

Aitghanova, Madina Rustamovna — Master of technical sciences, Lecturer of the Department of Mining, Construction and Ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan, madina0794e@gmail.com;

Zhaparova, Sayagul Beketovna — Candidate of technical sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Director of the S. Sadvakasov Agrotechnical Institute, Kokshetau, Kazakhstan; zhaparova_77@mail.ru.

Ю.В. Вантеева*

Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

**Автор для корреспонденции: ula.vant@mail.ru*

Оценка средорегулирующих функций геосистем на локальном уровне

В рамках методики ландшафтного планирования впервые проведена оценка средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай (юго-восточное побережье оз. Байкал, хр. Хамар-Дабан, Бурятия). Основой для исследования послужила ландшафтно-типологическая карта на уровне групп фаций в масштабе 1: 50 000. В качестве количественных показателей климаторегулирующей функции геосистем использованы данные о запасах органического углерода в древесной фитомассе и верхних гумусовых горизонтах почв на глубине 0–5 см. Для оценки стокоформирующей и эрозионнорегулирующей функций использовались данные о запасах древесной фитомассы и рассчитанные по ЦМР показатели накопления стока и LS-фактор. С применением методов геоинформационного анализа данных и ландшафтно-интерпритационного картографирования произведена оценка рассматриваемых функций для каждого типа геосистем. Составлена матрица значимости геосистем для обеспечения средорегулирующими функциями. В результате выявлено, что наибольшее распространение (30,6 %) на территории водосборного бассейна р. Бол. Мамай получила горная темнохвойная тайга и субальпийские горно-луговые геосистемы (26,2 %). Долинные геосистемы занимают около 12 %. Наибольший вклад в средорегулирование вносят коренные темнохвойные (пихтовые, елово-пихтовые и пихтово-кедровые) леса, получившие распространение как в горной части бассейна, так и в предгорьях, однако в последней их доля значительно сокращена вследствие антропогенной деятельности. Разработанные критерии оценки средорегулирующих функций геосистем могут быть применены и для других территорий.

Ключевые слова: геосистемный подход, ландшафтное планирование, климаторегулирование, стокоформирование, регулирование эрозии, значимость геосистем, геоинформационный анализ, цифровая модель рельефа.

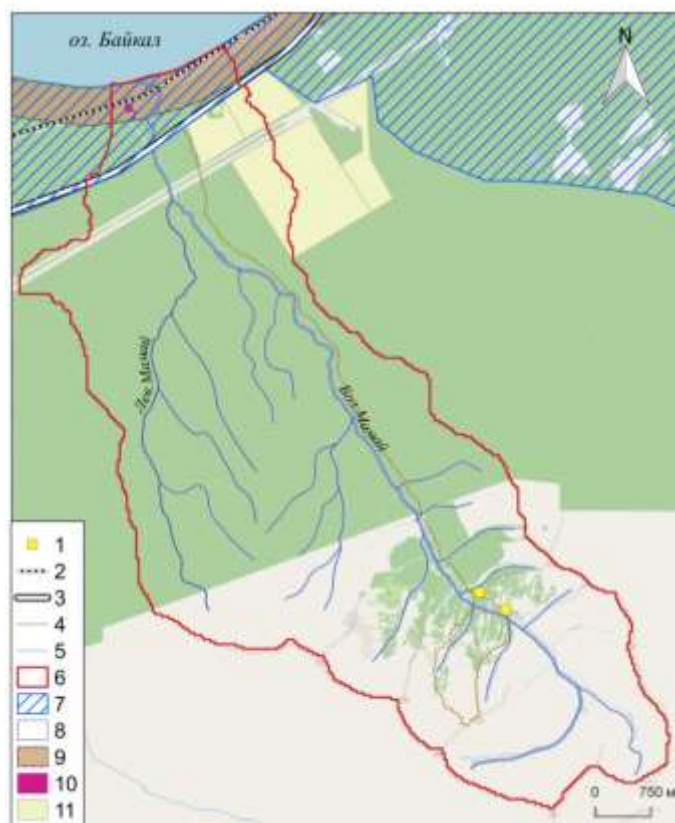
Введение

Для решения задач территориального, и в том числе ландшафтного планирования, а также организации рационального природопользования на территории, основные виды хозяйственной деятельности должны регламентироваться исходя из анализа функций природных систем. Геосистемы выполняют множество экологических функций (средоформирующих и средорегулирующих) [1–4], обеспечивающих функционирование как отдельных биогеоценозов, так и ландшафтной сферы в целом, а также играют важную роль в обеспечении человека социально-экономическими функциями (продукционными, культурными и т.д.) [1, 5, 6]. Поэтому для организации устойчивого развития территории, сохранения природно-ресурсного потенциала ландшафтов и предотвращения развития неблагоприятных процессов и опасных катастрофических явлений необходимы знания о структуре, особенностях функционирования и развития геосистем [7].

Применение геосистемного подхода [8], подразумевающего, что все компоненты, которые составляют географическое пространство, влияют на динамику функций, считается наиболее перспективным для оценки, как экологических, так и социально-экономических функций в практике ландшафтного планирования [3, 9–13]. А представление об иерархической организации геосистем позволяет соотнести уровни землепользования с соответствующими уровнями дифференциации ландшафтов, что может быть использовано при принятии решений в области землепользования и природопользования в целом [9].

Целью данной работы является оценка потенциала геосистем выполнять средорегулирующие функции (климаторегулирование, стокоформирование, регулирование эрозии) на локальном уровне.

В качестве объекта исследования выбран бассейн реки Бол. Мамай (рис. 1), расположенный в центральной части северо-западного макросклона хребта Хамар-Дабан. Площадь бассейна составляет 37,5 км², длина реки 12 км. Рельеф в горной части бассейна характеризуется сильной расчленённостью с перепадами высот от 600 до 1700 м и крутыми склонами до 30–45°. Предгорная часть бассейна представлена слабонаклонной равниной (0–4°) и террасами оз. Байкал с высотами около 460–600 м.



Условные обозначения: 1 — зимовья; 2 — ж/д; 3 — автодорога; 4 — тропы; 5 — реки; 6 — границы водосборного бассейна р. Бол. Мамай; 7 — водоохранная зона оз. Байкал; 8 — водоохранные зоны рек; 9 — рыбоохранная зона оз. Байкал; 10 — земельные участки, выделенные под малоэтажную застройку; 11 — земельные участки для с/х производства. Подложка — данные OpenStreetMap в виде WMS-слоя

Рисунок 1. Территория исследования

В соответствии с районированием Прибайкалья [14], исследуемая территория попадает в район с максимальной геоморфологической опасностью. В гольцовом и подгольцовом поясе развиты гравитационные, нивально-криогенные и эрозионные процессы. Для верховий долины р. Бол. Мамай и ее притоков характерно развитие интенсивной снеголавинной активности, скальных оползней, селей, обвалов, солифлюкции. Ниже по течению повышается паводковая активность, на крутых склонах интенсивно проявляются эрозионные процессы (особенно во время ливней) и внутригрунтовый смыв. В предгорной части современные экзогенные процессы практически не выражены [15, 16], частично наблюдается заболачивание.

Климат территории умеренно континентальный, формируется в условиях барьерного эффекта, обусловленного задержкой воздушных масс на северных и северо-западных склонах хребта Хамар-Дабан, и характеризуется повышенной влажностью. Среднегодовые температуры воздуха варьируют от $-0,3$ до -1°C . Сумма активных температур (выше 10°C) на предгорной равнине составляет $1200\text{--}1400^{\circ}\text{C}$, в горной части бассейна уменьшается до $600\text{--}1000^{\circ}\text{C}$. Безморозный период длится, в среднем, $118\text{--}133$ дней в предгорной части, с увеличением абсолютной высоты местности сокращается до 80 дней [17]. Снежный покров в горной части бассейна устанавливается рано (августе–сентябре) и может достигать до 2 м у верхней границы леса, а в предгорной — во второй половине октября (мощностью до 1 м). Среднегодовое количество осадков здесь максимальное для Прибайкалья и достигает $1500\text{--}1800$ мм у верхней границы леса [17, 18].

Ландшафтная структура территории исследования отличается разнообразием, что обусловлено, как высотно-поясными закономерностями, так и влиянием локальных факторов: горным сильно расчлененным рельефом, активными экзогенными процессами и местными климатическими особенностями (повышенным увлажнением).

Наибольшее распространение на территории получила темнохвойная тайга. В горной части бассейна она представлена пихтовыми и пихтово-кедровыми мелкотравно-черничными лесами на буро-

земах и подбурях, а также елово-пихтовыми и пихтово-еловыми разнотравно-папоротниковыми лесами на мозаиках дерново-подбуров и серогумусовых почв. На предгорной равнине распространены кедровые и пихтово-кедровые мелкотравно-черничные леса преимущественно на подбурях. Подгольцовые кустарниковые и темнохвойно-редколесные геосистемы в сочетании с субальпийскими лугами представлены на высоте 1000–1500 м. В верхней и средней части долины р. Бол. Мамай и в долинах ее притоков геосистемы представлены преимущественно пихтово-еловыми редколесьями с ивой на серогумусовых метаморфизованных почвах в сочетании с высокотравными лугами на темногумусовых почвах, которые на предгорной равнине сменяются тополевыми кустарниково-высокотравными на аллювиальных дерновых и серогумусовых метаморфизованных глееватых почвах [11, 19]. Уникальные климатические условия территории способствовали сохранению большого разнообразия реликтовых видов неморальной флоры, переживших серию плейстоценовых оледенений, которые отмечаются практически во всех типах геосистем, распространенных в бассейне р. Бол. Мамай [19, 20].

Исследуемая территория полностью располагается в пределах центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ), установленной в соответствии со ст. 2 Федерального закона от 1 мая 1999 г. № 94–ФЗ «Об охране озера Байкал», для которой утвержден перечень видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 г., № 2399) для защиты уникальной экосистемы озера Байкал от негативного воздействия и регулирования антропогенной деятельности. Помимо этого, 4 % от общей доли водосборного бассейна р. Бол. Мамай входит в водоохранную зону оз. Байкал, из них 2,4 % также пересекаются с рыбоохранной зоной оз. Байкал (рис. 1), которые установлены в соответствии со ст. 3 ФЗ «Об охране озера Байкал» распоряжением Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 368–р «Об установлении границ водоохранной зоны и рыбоохранной зоны оз. Байкал». Водоохранные зоны рек (рис. 1), где хозяйственная деятельность также жестко регламентируется, из-за малой протяженности водотоков занимают всего 1,3 % от общей площади территории. Ландшафты горной части бассейна занимают земли лесного фонда РФ. Расположение исследуемой территории в зонах с особыми условиями использования территории разных категорий обуславливает высокие требования к сохранению и поддержанию средоформирующих и водоохраных функций геосистем.

Одним из приоритетных видов деятельности, позволяющим обеспечить экологическую безопасность, для ЦЭЗ БПТ считается туризм и рекреация. Исследуемая территория давно используется для самостоятельного туризма (пешего, научно-познавательного) и особенно популярна у любителей горнолыжного спорта (фрирайдинга). В настоящее время в среднем течении р. Бол. Мамай в долине построены несколько зимовий и гостевой дом. Для подъема в гору есть пешеходная тропа (рис. 1). Организованные трассы для спуска отсутствуют. Ранее были проведены работы по обоснованию создания туристско-рекреационного комплекса «Мамай» для развития спортивного и экстремального туризма [16, 21]. Очевидно, что при планировании развития данной деятельности необходимо учесть средоформирующие и средорегулирующие функции ландшафтов, учитывая распространение опасных экзогенных процессов и высокую значимость водоохранной функции ландшафтов.

Методы и материалы

В качестве основного источника данных была использована составленная ранее ландшафтно-типологическая карта на уровне групп фаций в масштабе 1:50000 для территории бассейнов рек Бол. и Мал. Мамай на основе факторально-динамических рядов [19] (рис. 2) и информации о запасах древесной надземной фитомассы геосистем, рассчитанных в ходе полевых данных [11, 22]. Для характеристики климаторегулирующей функции геосистем произведены расчеты по депонированию углерода в древесине с помощью конверсионных коэффициентов (0,5 для древесной фитомассы) [23]. Значения стока углерода определялись для каждого типа геосистем на уровне групп фаций и интерполировались внутри выделов на основе карты запасов фитомассы (рис. 3 а), в основу лег метод ландшафтно-интерпритационного картографирования [11]. Также, по данным Глобальной базы почвенных данных «Soil Grids and WoSIS» [24] с шагом сетки **0,00226** град. (около 250 м), было определено содержание общего органического углерода (дг/кг) в почве на глубине 0–5 см (рис. 3 б). С помощью инструментов зональной статистики растра производился расчёт средних значений запасов углерода в почве для каждого типа геосистемы на уровне групп фаций.

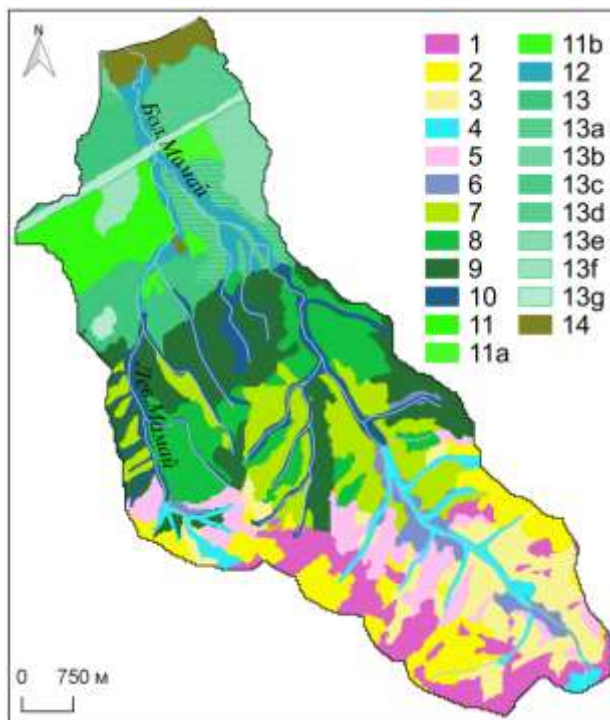
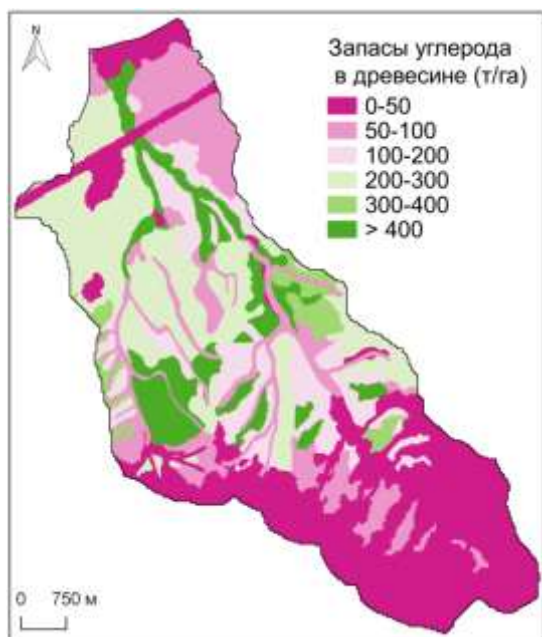
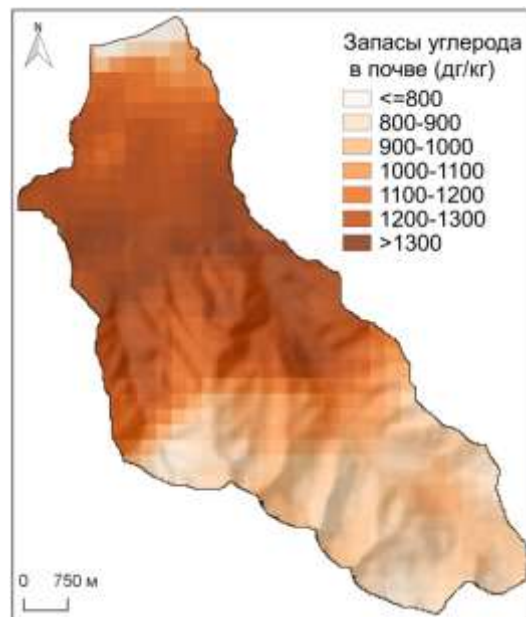


Рисунок 2. Фрагмент ландшафтно-типологической карты [19] на территорию исследования. Номерами (1–14) обозначены группы фаций (легенда представлена в табл. 4)



а — запасы углерода в древесине



б — запасы углерода в верхнем горизонте почвы (0–5 см)

Рисунок 3. Показатели депонирования углерода

Для выделения точных границ бассейна реки Бол. Мамай и последующего анализа рельефа были использованы данные радарной топографической съемки SRTM (пространственное разрешение — 1 угловая секунда, приблизительно 30 м) [25]. С помощью инструментов SAGAGIS цифровая модель рельефа (ЦМР) спроецирована в проекцию «Универсальная поперечная Меркатора» (зона 48N), затем произведена ее первичная обработка: выполнено сглаживание данных с помощью инструмента «SimpleFilter» в двукратной повторности (тип фильтра «сглаживание», форма матрицы сферическая, ради-

ус — 1 пиксель); для устранения локальных впадин выполнена гидрологическая коррекция с помощью модуля «Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001)» [26] (рис. 4 а).

С использованием инструментов гидрологического анализа по ЦМР выделены границы водосборного бассейна реки Бол. Мамай, сгенерированы основные линии стока и произведен расчёт накопления стока «Flowaccumulation» (FA, безразмерная величина) [27] для определения областей водосбора (рис. 4 б). Накопление стока рассчитывается как взвешенная сумма всех ячеек, сток из которых попадает в ячейки, расположенные ниже по склону. Наименьшие значения соответствуют участкам, с которых сток собирается (водоразделы и склоны), наибольшие — участкам с максимальной площадью накопления стока (водосборные понижения и долины рек).

С помощью инструментов морфометрического анализа произведен расчет LS-фактора (произведение длины склона на крутизну), характеризующего потенциал рельефа к развитию опасных экзогенных процессов (рис. 4 в). Также производилось осреднение количественных характеристик для выделов ландшафтной карты с помощью зональной статистики. Помимо этого, произведен подсчет площадей каждого типа геосистем и его доли от общей площади водосбора.

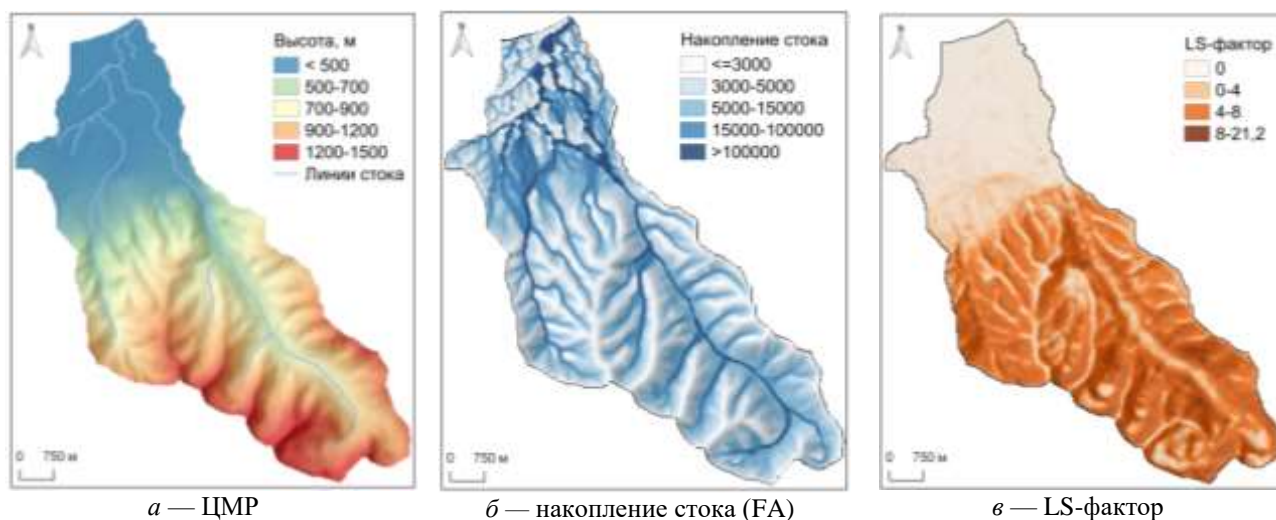


Рисунок 4. Результаты обработки ЦМР для территории водосборного бассейна р. Бол. Мамай

Для качественной оценки средорегулирующих функций все количественные показатели были ранжированы по степени значимости в рамках методики ландшафтного планирования [3, 28]. Для оценки климаторегулирующей функции были ранжированы показатели по депонированию органического углерода в древесине и в верхнем гумусовом горизонте почвы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Ранжирование количественных показателей по критерию значимости геосистем

Показатели	Уровень значимости		
	низкий (Н)	средний (С)	высокий (В)
Запасы древесной фитомассы, т/га	0–100	100–200	>200
Запасы углерода в древесине	0–50	50–100	>100
Запасы углерода в почве	<1000	1000–1300	>1300
Накопление стока	>100000	<15000	15000–100000

Для косвенной оценки стокоформирующей функции в качестве основных параметров использовались данные о расчете накопления стока (области с показателем <100 000 приняты как области водосбора, которые имеют высокую значимость для стокоформирования) и данные о запасах древесной фитомассы (табл. 2), так как известно, что именно леса выполняют важные гидрологические функции и вносят значительный вклад в формирование и распределение стока [28, 29].

Критерии для оценки значимости геосистем для стокоформирующей функции

По показателю стоконакпления (ГА)	Уровень значимости геосистем по показателю фитомассы древостоя		
	высокий	средний	низкий
Высокий (15000–100000)	В	С	С
Средний (<15000)	В	С	Н
Низкий (>100000)	С	Н	Н

Для оценки эрозионнорегулирующей функции геосистем по показателю LS-фактора были определены ландшафты с высоким, средним и низким потенциалом для развития эрозионных процессов и по показателю запасов древесной фитомассы, оценена их значимость для регулирования эрозии (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Критерии для оценки значимости геосистем для эрозионностабилизирующей функции

Потенциал к развитию эрозии (LS-фактор)	Уровень значимости геосистем по показателю фитомассы древостоя		
	высокий	средний	низкий
Высокий (>8)*	В	С	Н
Средний (4–8)	В	С	Н
Низкий (0–4)	С	Н	Н

*Примечание. Если LS-фактор высокий для геосистем, которые являются областями накопления стока (>100000), то тогда значимость функции по регулированию эрозионных процессов высокая.

Результаты и их обсуждение

В результате анализа выявлено, что 30,6 % водосборного бассейна р. Бол. Мамай занимают горнотаежные темнохвойные геосистемы, представленные преимущественно пихтовыми и пихтово-кедровыми лесами (табл. 4). Также значительная доля (26,2 %) приходится на субальпийские горно-луговые геосистемы, занимающие склоны и водоразделы в верховьях долины р. Бол. Мамай и ее притоков. На долинские геосистемы приходится всего около 12 %. Свыше 20 % занимают подгорные темнохвойные леса, однако из них 13,2 % представлены длительно производными состояниями.

Анализ климатрегулирующей функции по показателям депонирования органического углерода в древесине показал, что наиболее высокую значимость имеют горнотаежные пихтовые и пихтово-кедровые леса и подгорные кедрово-еловые, кедровые и пихтово-кедровые леса, а также тополевики в предгорной части долины р. Бол. Мамай (табл. 4). Однако показатели запасов углерода в почве возрастают в соответствии с уменьшением гипсометрических отметок высот и максимальны в геосистемах предгорной равнины (рис. 3 б, табл. 4).

При анализе результатов расчета накопления стока были выделены области водосбора и области аккумуляции стока. Наименьший вклад в водосбор вносят водоразделы и приводораздельные части склонов с кедровостланниковыми редколесьями и субальпийскими лугами. Основные области водосбора приходятся на склоновые геосистемы, покрытые темнохвойной тайгой (табл. 4). За счет высоких показателей запасов фитомассы их можно рассматривать как наиболее значимые для стокоформирующей функции. Зоны аккумуляции стока логично концентрируются в долинах рек и водосборных понижениях. Однако в предгорной части бассейна показатель накопления стока достигает максимальных значений не только в долине реки, но и на равнинных участках, занятых производными темнохвойно-мелколиственными лесами. По результатам расчета накопления стока по ЦМР хорошо определяются области, где автомобильная и железная дороги, проходящие по предгорной равнине, служат барьером для стока и способствуют застаиванию влаги. В полевых условиях установлено, что это выражается в оглеении почв и заболачивании. Болота, сформированные в устье р. Бол. Мамай (группа фаций № 14, см. рис. 2, табл. 4, 5) и попадающие в водоохранную и рыбоохранную зоны оз. Байкал, выступают не только аккумуляторами стока, но и выполняют стокорегулирующие функции.

Расчет LS-фактора показал, что почти вся горная часть водосборного бассейна имеет высокий потенциал к развитию опасных экзогенных процессов, в первую очередь эрозионных. Основными

стабилизаторами почвогрунта являются елово-пихтовые, пихтовые, пихтово-кедровые леса (группы фаций № 7–9, табл. 4), отличающиеся довольно высокими показателями запасов древесной фитомассы. Осоково-кустарничковые болота и заболоченные пихтовые травянисто-зеленомошные редколесья в подгольцовом поясе, несмотря на низкие запасы древесной фитомассы, также выполняют эрозионно-стабилизирующие функции. Риск развития эрозионных процессов в геосистемах предгорной равнины очень низок, поэтому, с этой точки зрения, значимость для регулирования эрозии невысокая.

На основе проанализированных количественных показателей была составлена оценочная матрица значимости средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай (табл. 5). Геосистемы гольцового и подгольцового поясов (группы фаций № 1–5, табл. 4, 5) отличаются низкими показателями климаторегулирующей функции, но вносят значительный вклад в формирование стока. Именно эти ландшафты пользуются популярностью у туристов-горнолыжников, здесь концентрируются основные неорганизованные маршруты для спусков. Однако данные геосистемы обладают низким потенциалом к регулированию опасных экзогенных процессов, что подтверждается также распространением там лавин [15]. Дополнительная антропогенная нагрузка приводит к фрагментации естественно разреженного растительного покрова на данных участках и может усугублять развитие опасных экзогенных процессов.

Наибольшую ценность с точки зрения регулирующих и стокоформирующих функций имеют горнотаежные темнохвойные леса, которые, в случае проектирования туристско-рекреационного горнолыжного комплекса [21], могут оказаться в зоне риска. Данные геосистемы имеют значительное распространение в пределах водосборного бассейна и вносят основной вклад в формирование стока, сдерживают активизацию эрозионных процессов и, соответственно, регулируют качество вод, поступающих со стоком в Байкал, поэтому имеют водоохранное значение. Анализ правового зонирования территории показал, что в настоящее время данные ландшафты попадают только в ЦЭЗ БПТ и исключены из водоохранной зоны оз. Байкал в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 26 марта 2018 года № 507–р, ранее водоохранная зона оз. Байкал совпадала с границами ЦЭЗ БПТ.

Геосистемы, попадающие в водоохранную и рыбоохранную зону озера Байкал, за исключением осоково-сфагнового болота и высокотравных тополельников в долине р. Бол. Мамай, представлены производными лесами, сформировавшимися в ходе хозяйственной деятельности человека (преимущественно рубок), вследствие чего их средорегулирующий потенциал снижен.

Т а б л и ц а 4

Количественные показатели средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай

№ п/п	Группа фаций*(в соответствии с опубликованной ранее картой [19])	Доля от площади водосборного бассейна, %	Запасы древесной фитомассы, т/га	Содержание органического углерода в почве, дг/кг	Накопление стока (FA)	Вклад в стокоформирование	LS-фактор
1	Березово-кедровостлианиковые редколесья с выходами горных пород на водоразделах и крутых склонах	7,4	50-100	<1000	<15000	Область водосбора	>8,1
2	Разнотравно-папоротниковые луга с редкими кустарниками на водоразделах и крутых склонах	7,3	0-50	<1000	<15000	Область водосбора	>8,1
3	Высокотравно-папоротниковые луга в сочетании с кустарниковыми зарослями на склонах и речных террасах	8	0-50	<1000	15000-100000	Область водосбора	>8,1
4	Высокотравные луга в сочетании с верховыми и переходными осоковыми и осоково-кустарничковыми болотами на водосборных понижениях и в речных долинах	3,5	0-50	<1000	>100000	Область аккумуляции стока	>8,1
5	Пихтовые кустарничковые редколесья на крутых склонах	5,7	50-100	<1000	15000-100000	Область водосбора	>8,1
6	Заболоченные пихтовые травянисто-зеленомошные редколесья на водосборных понижениях и в верховьях речных долин	2,4	0-50	1000-1100	>100000	Область аккумуляции стока	4,1-8
7	Пихтовые с елью и кедром разнотравно-бадановые леса с выходами горных пород на крутых склонах	9,6	100-200	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	>8,1
8	Елово-пихтовые и пихтово-еловые разнотравные и разнотравно-папоротниковые леса на крутых склонах	8,9	> 500	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	>8,1

9	Пихтовые и пихтово-кедровые мелкотравно-черничные леса на выположенных поверхностях	12,1	> 500	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	4,1-8
10	Пихтово-еловые леса и редколесья с ивой в сочетании с высокотравными лугами в речных долинах	6,2	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	4,1-8
11	Кедрово-еловые кустарничковые мелкотравно-осоковые сфагновые леса на предгорной равнине	4,7	300-500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
11a, b	Сукцессионные стадии: елово-березовые леса	1,1	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
12	Топольевые с примесью ели и березы кустарничково-высокотравные леса в долинах	3,4	> 500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13	Кедровые и пихтово-кедровые с пихтовым стлаником мелкотравно-черничные леса на предгорной равнине	5,7	> 500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13a, b	Сукцессионные стадии: березово-кедровые леса	3,6	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13 c, d, e, f	Сукцессионные стадии: темнохвойно-березовые и березовые леса	6,6	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13g	Сукцессионные стадии: Зарастающая просека	1,9	0-50	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
14	Осоково-сфагновые и кустарничково-осоково-сфагновые болота в сочетании с заболоченными осоковыми лугами на староречьях в террасах рек	1,9	0-50	<1000	>100000	Область аккумуляции стока	0-4

Т а б л и ц а 5

**Значимость геосистем бассейна р. Бол. Мамай для обеспечения средорегулирующих функций
(Н — низкая, С — средняя, В — высокая)**

№ группы фаций в соответствии с [19]	Климаторегулирование		Стоко-формирование	Стоко-накопление	Регулирование эрозии
	депонирование углерода в почве	депонирование углерода в фитомассе			
1	Н	Н	С	Н	Н
2	Н	Н	С	Н	Н
3	Н	Н	С	Н	Н
4	Н	Н	Н	В	В
5	Н	Н	С	Н	Н
6	Н	Н	Н	В	В
7	С	С	С	Н	С
8	С	В	В	Н	В
9	С	В	В	Н	В
10	В	С	С	В	С
11	В	В	С	В	С
11a, b	В	С	Н	С	Н
12	В	В	С	В	С
13	В	В	С	В	С
13a, b	В	С	Н	С	Н
13 c, d, e, f	В	С	Н	С	Н
13g	Н	Н	Н	Н	Н
14	Н	Н	Н	В	С

Заключение

В настоящее время нет единого подхода к оценке экологических и социально-экономических функций ландшафтов. Однако в практике ландшафтоведения и ландшафтного планирования сформировался методический аппарат, который может быть применим для решения этой задачи. В рамках данной работы на основе ландшафтно-типологической карты произведена оценка ряда средорегули-

рующих функций геосистем. Предложены количественные характеристики, которые могут быть использованы для оценки исследуемых функций для других территорий.

В результате исследования установлено, что высокую значимость для обеспечения средорегулирующих и водоохраных функций в бассейне р. Бол. Мамай имеют пихтовые, елово-пихтовые и пихтово-кедровые леса на склонах в горной части территории. С позиций стока углерода и регулирования климата высокую значимость имеют все коренные темнохвойные леса, как в горной, так и в предгорной части бассейна. Важное стокоформирующее значение имеют гольцовые, подгольцовые и субальпийнотипные геосистемы, при этом они являются наиболее уязвимыми к антропогенному воздействию. Полученные результаты могут быть применены при планировании рекреационной деятельности, а также при разработке водоохраных, лесо- и эрозионно-защитных мероприятий.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: АААА-А21-121012190056-4).

Список литературы

- 1 De Groot R.S. Evaluation of environmental functions as tool in planning, management and decision-making / R.S. De Groot. – Wageningen, 1994. — 85 p.
- 2 Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России / А.А. Тишков; отв. ред. Н.И. Коронкевич; Ин-т географии РАН. — М.: Наука, 2005. — 309 с.
- 3 Дроздов А.В. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии / А.В. Дроздов, Н.А. Алексеев, А.Н. Антипов, Р. Йохансен и др. — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. — 239 с.
- 4 Кирюшин В.И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования / В.И. Кирюшин // Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2015. — Вып. 80. — С. 16–25.
- 5 Преображенский В.С. Основы ландшафтного анализа / В.С. Преображенский, Т.Д. Александрова, Т.П. Куприянова. — М.: Наука, 1988. — 192 с.
- 6 Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. – Washington (DC): Island Press, 2005. — 155 pp. — Электронный ресурс. — Режим доступа: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- 7 Хорошев А.В. Ландшафтно-экологические ценности при планировании лесопользования / А.В. Хорошев // Лесоведение, 2009. — № 6. — С. 54–62.
- 8 Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.
- 9 Bastian O. Landscape services: The concept and its practical relevance / O. Bastian, K. Grunewald, R.-U. Syrbe et al. // Landscape Ecology. — 2014. — Vol. 29 (9). — P. 1463–1479.
- 10 Tavora G.S.G. An approach to map landscape functions in Atlantic Forest–Brazil / G.S.G. Tavora, A.P.D. Turetta // Ecological Indicators. — 2016. — No. 71. — P. 557–566.
- 11 Vanteeva Y.V. Structure and Phytomass Production of Coastal Geosystems Near Lake Baikal / Y.V. Vanteeva, S.V. Solodyankina // Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series. — 2020. — Vol. 26. — P. 121–137. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_8
- 12 Vanteeva Y.V. Application of geosystem approach for landscape function assessment at the local level / Y.V. Vanteeva, S.V. Solodyankina // 70 Years Macedonian Geographical Society. — 2019. — P. 15–25. <https://doi.org/10.37658/procgeo1915v>.
- 13 Bastian O. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: Exemplified in a case study in Russia Landscape Ecology / O. Bastian, K. Grunewald, A.V. Khoroshev // Landscape Ecology. — 2015. — Vol. 30 (7). — P. 1145–1164.
- 14 Опекунова М.Ю. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) / М.Ю. Опекунова, С.А. Макаров // Современные проблемы сервиса и туризма. — 2018. — Т. 12, № 3. — С. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
- 15 Агафонов Б.П. Распространение и прогноз физико-географических процессов в Байкальской впадине / Б.П. Агафонов // Динамика Байкальской впадины. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 59–138.
- 16 Абалаков А.Д. Предпосылки создания туристско-рекреационного комплекса «Мамай» в Южном Прибайкалье / А.Д. Абалаков, С.Б. Кузьмин, Д.И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». — 2016. — Т. 17. — С. 3–19.
- 17 Климат и растительность Южного Прибайкалья / ред. Н.П. Ладейщиков, В.Н. Моложников. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. — 151 с.
- 18 Растительность хребта Хамар-Дабан / АН СССР. Сиб. отд.-ние. Лимнологический ин-т; отв. ред. Г.И. Галазий. — Новосибирск: Наука, 1988. — 112 с.
- 19 Солодянкина С.В. Классификация и картографирование топогеосистем методом построения факторально-динамических рядов фаций / С.В. Солодянкина, Ю.В. Вантеева, А.А. Черкашина, В.В. Чепинога // География и природные ресурсы. — 2018. — №3. — С. 164–174. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(164-174\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(164-174)).
- 20 Чепинога В.В. Экопическая приуроченность неморальных реликтовых видов растений на хребте Хамар-Дабан (юг восточной Сибири) по данным сеточного картографирования / В.В. Чепинога, М.В. Протопопова, В.В. Павличенко, С.В. Дудов // Экология. — 2021. — №3. — С. 205–216. <https://doi.org/10.31857/S0367059721030057>.

21 Абалаков А.Д. Территориальное планирование туристско-рекреационного комплекса «Мамай» в Южном Прибайкалье / А.Д. Абалаков, С.Б. Кузьмин, Д.И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». — 2017. — Т. 19. — С. 3-19.

22 Солодянкина С.В. Изменчивость продукционной функции растительности прибрежных геосистем Прибайкалья / С.В. Солодянкина, Ю.В. Вантеева // География и природные ресурсы. — 2017. — №2. — С. 73-80.

23 Исаев А.С. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин, А.А. Пряжников, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. — 1993. — № 5. — С. 3-10.

24 ISRIC — World soil information. — 2023. <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20200605>.

25 Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global. — 2023. <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>.

26 Planchon O. A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models / O. Planchon, F. Darboux // Catena. — 2001. — Vol. 46. — P. 159-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3).

27 Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models / D.G. Tarboton // Water Resources Research. — 1997. — Vol. 33, No. 2. — P. 309-319.

28 Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Слюдянский район / Е.Г. Суворов, А.Н. Антипов, Ю.М. Семнов и др. — Иркутск: Из-во Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2002. — 141 с.

29 Гидрологическая роль лесных геосистем / Под ред В.А. Снытко. — Новосибирск: Наука, 1989. — 164 с.

Ю.В. Вантеева

Жергілікті деңгейде геожүйелердің ортаны реттеуші функцияларын бағалау

Ландшафтық жоспарлау әдістемесі аясында алғаш рет Үлкен Мамай өзені бассейнінің (Байкал көлінің оңтүстік-шығыс жағалауы, Хамар-Дабан жотасы, Бурятия) геожүйелерінің қоршаған ортаны реттеуші функцияларына бағалау жүргізілді. Зерттеуге негіз ретінде 1:50000 масштабтағы фациялық топтар деңгейіндегі ландшафтық-типологиялық карта алынды. Геожүйелердің климатты реттеуші функциясының сандық көрсеткіштері ретінде 0-5 см тереңдіктегі ағаш фитомассасындағы және топырақтың жоғарғы қарашірікті горизонтындағы органикалық көміртегі қоры туралы мәліметтер пайдаланылды. Ағынды түзуші және эрозияны реттейтін функцияларды бағалау үшін ағаш фитомассасының қорлары туралы деректер және жер бедерінің сандық модулі бойынша есептелген ағынды жинақтаудың көрсеткіштері және LS-фактор қолданылған. Деректерді геоақпараттық талдау және ландшафтық-интерпретациялық картографиялау әдістерін қолдана отырып, геожүйелердің әрбір түрі үшін қарастырылатын функцияларды бағалау жүргізілген. Ортаны реттеуші функциялармен қамтамасыз ету үшін геожүйелердің маңыздылық матрицасы құрастырылған. Нәтижесінде Үлкен Мамай өзенінің су жинау бассейнінің аумағында ең көп таралғаны таулы қара қылқан жапырақты тайга (30,6%) және және субальпинотипті тау-шалғынды геожүйелер (26,2%) болды. Алқап геожүйелері шамамен 12% құрайды. Қоршаған ортаны реттеуге бассейнің таулы бөлігінде де, тау бөктерінде де таралған жергілікті қара қылқан жапырақты (самырсын, шыршалы-самырсынды және шыршалы-балқарағайлы) ормандар үлкен үлес қосады, бірақ соңғысында олардың үлесі антропогендік әрекетке байланысты айтарлықтай азайды. Геожүйелердің қоршаған ортаны реттеу функцияларын бағалаудың эзірленген критерийлері басқа аумақтар үшін де қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздер: геожүйелік тәсіл, ландшафты жоспарлау, климатты реттеу, ағынды суларды қалыптастыру, эрозияны реттеу, геожүйелердің маңыздылығы, геоақпараттық талдау, жер бедерінің сандық моделі.

Yu.V. Vanteeva

Assessment of environment-regulating functions of geosystems at the local level

Within the framework of landscape planning methodology, for the first time, an assessment of the environment-regulating functions of the geosystems of the river basin Bol. Mamai (south-eastern coast of lake Baikal, Khमार-Daban range, Buryatia) was carried out. A landscape-typological map at the level of facies groups on a scale of 1: 50,000 was the basis for the study. Data on organic carbon storage in tree phytomass and upper humus horizons of soils at a depth of 0-5 cm were used as quantitative indicators of the climate-regulating function of geosystems. To assess the runoff-forming and erosion-regulating functions, data on tree phytomass and flow accumulation indicators, and the LS factor calculated from the DEM were used. The functions were assessed for each type of geosystem using methods of GIS-analysis and landscape-interpretive mapping. A matrix of the importance of geosystems for providing environment-regulating functions has been compiled. As a result, it was revealed that the mountain dark coniferous taiga (30.6%) and subalpinotype mountain-meadow geosystems (26.2%) have the greatest distribution in the drainage basin of Bol. Mamai river. Valley geosystems occupy about 12%. The greatest contribution to environmental regulation is made by indigenous dark coniferous (fir, spruce-fir and fir-cedar) forests, which are widespread both in the mountainous

part of the basin and in the foothills, but in the latter their share has been significantly reduced due to anthropogenic activities. The developed criteria for assessing the environment-regulating functions of geosystems can be applied to other territories.

Keywords: geosystem approach, landscape planning, climate regulation, runoff formation, erosion regulation, significance of geosystems, geographic information analysis, digital elevation model.

References

- 1 De Groot, R.S. (1994). Evaluation of environmental functions as tool in planning, management and decision-making. Wageningen.
- 2 Tishkov, A.A. (2005). Biosferne funktsii prirodnykh ekosistem Rossii [Biosphere functions of natural ecosystems in Russia]. (N.I. Koronkevich, Ed.). Moscow: Nauka [in Russian].
- 3 Drozdov, A.B., Alekseenko, N. A., Antipov, A.N., Johannsen, R. & al. (2006). *Landshaftnoe planirovanie s elementami inzhenernoi biologii [Landscape planning with elements of engineering biology]*. (A.V. Drozdova, Ed.). Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [in Russian].
- 4 Kiryushin, V.I. (2015). Razvitie predstavlenii o funktsiiakh landshaftov v sviazi s zadachami optimizatsii prirodopolzovaniia [Development of ideas about the functions of landscapes in connection with the problems of optimization of environmental management]. *Biulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva — Bulletin of the Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva*, 80; 16-25 [in Russian].
- 5 Preobrazhensky, V.S., Alexandrova, T.D., & Kupriyanova, T.P. (1988). *Osnovy landshaftnogo analiza [Fundamentals of landscape analysis]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 6 (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington (DC): Island Press. Retrieved from <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- 7 Khoroshev, A.V. (2009). Landshaftno-ekologicheskie tsennosti pri planirovanii lesopolzovaniia [Landscape and ecological values in forest management planning]. *Lesovedenie — Forestry Science*, 6; 54-62 [in Russian].
- 8 Sochava, V.B. (1978). *Vvedenie v uchenie o geosistemakh [Introduction to the doctrine of geosystems]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- 9 Bastian, O., Grunewald, K., Syrbe, R.-U. et al. (2014). Landscape services: The concept and its practical relevance. *Landscape Ecology*, 29 (9); 1463–1479.
- 10 Tavora, G.S.G. & Turetta, A.P.D. (2016). An approach to map landscape functions in Atlantic Forest–Brazil. *Ecological Indicators*, 71; 557–566.
- 11 Vanteeva, Y.V., & Solodyankina, S.V. (2020). Structure and Phytomass Production of Coastal Geosystems Near Lake Baikal. *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series*, 26; 121–137. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_8.
- 12 Vanteeva, Y.V., & Solodyankina, S.V. (2019). Application of geosystem approach for landscape function assessment at the local level. *70 Years Macedonian Geographical Society*, 15-25. <https://doi.org/10.37658/procgeo1915v>.
- 13 Bastian, O., Grunewald, K., & Khoroshev, A.V. (2015). The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: Exemplified in a case study in Russia Landscape Ecology. *Landscape Ecology*, 30 (7); 1145–1164.
- 14 Opekunova, M.Yu., & Makarov, S.A. (2018). Otsenka opasnykh geologicheskikh protsessov pri rekreatsionno-turistskoy deiatel'nosti v Pribaikalie (Irkutskaya oblast) [Assessment of hazardous geological processes during recreational and tourist activities in the Baikal region (Irkutsk region)]. *Sovremennyye problemy servisa i turizma — Modern problems of service and tourism*, 12(3); 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311> [in Russian].
- 15 Agafonov, B.P. (1975). Rasprostraneniye i prognoz fiziko-geograficheskikh processov v Baikalskoy vpadine [Distribution and forecast of physical and geographical processes in the Baikal depression]. *Dinamika Baikalskoy vpadiny — Dynamics of the Baikal depression*. Novosibirsk: Nauka, 59-138 [in Russian].
- 16 Abalakov, A.D., Kuzmin, S.B., & Maryshkin, D.I. (2016). Predposylki sozdaniia turistko-rekreatsionnogo kompleksa «Mamai» v Yuzhnom Pribaikalie [Prerequisites for the creation of the tourist and recreational complex “Mamai” in the Southern Baikal region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» — News of Irkutsk State University. Earth Science Series*, 17; 3-19 [in Russian].
- 17 Ladeishchikov, N.P., & Molozhnikov, V.N. (Eds.). (1989). *Klimat i rastitelnost Yuzhnogo Pribaikalia [Climate and vegetation of the Southern Baikal region]*. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdeleniye [in Russian].
- 18 Galaziy, G.I. (Ed). (1988). *Rastitelnost khrebt Hamar-Daban [Vegetation of the Khamar-Daban ridge]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- 19 Solodyankina, S.V., Vanteeva, Yu.V., Cherkashina, A.A., & Chepinoga, V.V. (2018). Klassifikatsiya i kartografirovaniye topogeosistem metodom postroeniia faktorialno-dinamicheskikh riadov fatsii [Classification and mapping of topogeosystems by the method of constructing factorial-dynamic series of facies]. *Geografiya i prirodnye resursy — Geography and natural resources*, 3; 164-174. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(164-174\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(164-174)) [in Russian].
- 20 Chepinoga, V.V., Protopopova, M.V., Pavlichenko, V.V., & Dudov, S.V. (2021). Ekotopicheskiya priurochennost nemoralnykh reliktovykh vidov rasteniy na khrebt Hamar-Daban (yugo-vostochnoy Sibiri) po dannym setochnogo kartografirovaniia [Ecotopic occurrence of nemoral relict plant species on the Khamar-Daban ridge (south of eastern Siberia) according to grid mapping data]. *Ekologiya — Ecology*, 3; 205-216. <https://doi.org/10.31857/S0367059721030057> [in Russian].
- 21 Abalakov, A.D., Kuzmin, S.B., & Maryshkin, D.I. (2017). Territorialnoe planirovanie turistko-rekreatsionnogo kompleksa «Mamai» v Yuzhnom Pribaikalie [Territorial planning of the tourist and recreational complex “Mamai” in the Southern Baikal re-

gion]. *Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» — News of Irkutsk State University. Earth Science Series, 19*; 3-19 [in Russian].

22 Solodyankina, S.V., & Vanteeva, Yu.V. (2017). Izmenchivost produktsionnoi funktsii rastitelnosti pribrezhnykh geosistem Pribaikalia [Variability of the production function of vegetation of coastal geosystems of the Baikal region]. *Geografiia i prirodnye resursy — Geography and natural resources, 2*; 73-80 [in Russian].

23 Isaev, A.S., Korovin, G.N., Utkin, A.I., Pryazhnikov, A.A., & Zamolodchikov, D.G. (1993). Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniia ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii [Assessment of reserves and annual carbon sequestration in the phytomass of forest ecosystems in Russia]. *Lesovedenie — Forestry, 5*; 3-10 [in Russian].

24 *ISRIC — World soil information* (2003). <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20200605>

25 *Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global* (2023). <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>

26 Planchon, O., & Darboux, F. (2001). A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models. *Catena, 46*; 159-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3).

27 Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research, 33* (2); 309-319.

28 Suvorov, E.G., Antipov, A.N., Semnov, Yu.M. et al. (2002). Ekologicheski orientirovannoe planirovanie zemlepolzovaniia v Baikalskom regione. Sliudianskii raion [Environmentally oriented land use planning in the Baikal region. Slyudiansky district]. Irkutsk: Izdatelstvo Instituta geografii imeni V.B.Sochavy Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk [in Russian].

29 Snytko, V.A. (ed.) (1989). *Gidrologicheskaiia rol lesnykh geosistem* [Hydrological role of forest geosystems]. Novosibirsk: Nauka [in Russian].

Information about authors

Vanteeva, Yulia Vladimirovna — Candidate of geographical sciences, Researcher of the Laboratory of Theoretical Geography, the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia; ula.vant@mail.ru.

A.S. Gorbunov*, V.B. Mikhno, O.P. Bykovskaya

Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Corresponding author: gorbunov.ol@mail.ru*

Structural and morphological organization of dry valley of the Cretaceous south of the Central Chernozem Region

The peculiarities of origin, morphological and genetic varieties and structural and dynamic interrelations of dry valley landscapes of the Cretaceous south of the Central Chernozem Region are considered. Modern ideas about genesis, morphology, development and landscape structure of sukhodols are presented. Paradyamic interrelations of structural elements of basin landscape systems are emphasized. The necessity of taking into account landscape specificity of dry lands when solving the problems of nature management and optimization of landscape-ecological situation in the Cretaceous south of the Central Chernozem Region is emphasized. As an example, we analyzed the component, territorial and altitudinal organization of natural complexes of a large sukhodol of the Kuvshin dry valley located in the Podgorensky district of the Voronezh Region. The main factors of landscape differentiation are established, among which are peculiarities of morpholithogenic base, character of biostrom development, modern economic use. The problems of identification of local landscape boundaries and approaches to their solution have been noted. Based on the results of the research, 7 families and 45 species of landtypes, as well as altitudinal landscape layers and sub-layers were identified within the valley. Recommendations on changing the conservation status of the territory are given.

Keywords: dry valley, landscape genesis, landscape structure, paragenetic landscape systems, landscape poly-structurality.

Introduction

A landscape peculiarity of the southern part of the Central Chernozem Region, composed of chalky-mergel rocks, is the widespread distribution of “sukhodols” – large dry erosion valleys with flat bottoms, deposits of temporary watercourses and gentle slopes. The largest dry valleys reach 20–25 km length, 1.5–2.0 km width, 40–50 m depth. They cut and drain interfluves, form a local base of erosion, karst, landslides and suffosion processes; they have a significant impact on hydroclimatic, soil and vegetation and in general landscape conditions of neighboring territories. All this is reflected in peculiarities of formation and structural and dynamic organization of sukhodol landscapes and geosystems interconnected with them by flows of substance and energy. The landscape-forming and ecologically-stabilizing role of sukhodols is still poorly studied. The lack of necessary information makes it difficult to solve problems related to rational use and optimization of landscapes in the region. Taking this into account, this article attempts to analyze the genetic features and structural and dynamic organization of sukhodol landscapes in the Cretaceous south of the Central Chernozem Region.

Definition of the term “sukhodol”. The term “sukhodol” is widespread mainly in the southern part of the Russian Plain. The earliest interpretation of it is contained in V.I. Dal's Explanatory Dictionary, in which the word “sukhodol” means a hollow, a valley without water [1; 625]. A similar definition of “sukhodol” is given in the dictionary of the Russian language by S.I. Ozhegov: “sukhodol” is a valley, an area on watersheds, where the soil is not moistened [2; 678]. Following the above definitions, the term “sukhodol” refers not only the dry valley, but also areas of watersheds, upper parts of hillsides and uplands that are drier than the surrounding area [3]. Usually, the term “sukhodol” is associated with large dry erosion valleys with a wide flat bottom and gentle slopes, filled with water in spring or during floods [4; 102]. The existing difference in the interpretation of the term is explained by toponymy — different meanings of the name in different regions. Thus, in the forest-steppe and steppe zones of the Russian Plain, including the Cretaceous south of the Central Chernozem Region, “sukhodol” is large dry valley; in the forest zones of the Russian Plain — elevated, treeless areas of watersheds occupied by meadows [5].

Experimental

The “sukhodol” spread in the Cretaceous south of the Central Chernozem Region is represented by two main variants: valley-sukhodols and balka-sukhodols [6].

The Valley-sukhodols were formed as a result of degradation of the river network and represent dry river valleys without permanent channel flow. The consequence of the fluvial mode of development of valley-sukhodols is reflected in their geological and geomorphological structure. In particular, alluvial and accumulative river sediments and dry river beds are often preserved on the bottoms of dry valleys. In some places fragments of fluvial terrace are above floodplain and dry lake basin. All this testifies to the fact that in the past there was a river regime here and fluvial processes of two types were actively manifested: erosive and accumulative.

On the territory of the Cretaceous south of the Central Chernozem Region, the formation of valley-sukhodol is mainly associated with the degradation of small rivers and watercourses. This is usually manifested in the reduction of river channels length or their disappearance, as well as transformation of floodplain landscapes. The most intensive drying of river in the basins of the following rivers: Bogucharka, Tolucheevka, Kriusha, Mamonovka, Chernaya Kalitva, etc. [7, 8]. During the period from 1950 to 1991, 138 small rivers in Voronezh Region alone lost their status and turned into temporary watercourses, and the total number of dry watercourses reached 1343 [9]. At the same time, the lost length of the river network from 1964 to 2008 amounted to 510 km [8].

The disappearance of watercourses has affected landscapes. It was especially manifested in the change of landscape structure of floodplain geosystems, the area of which for 40 years (from 1960 to 2000) within the Voronezh Region decreased as a result of floodplain drying by about 1 thousand km², which led to the degradation of meadows, old-growth streams, floodplain forests and other geosystems [10]. Eventually, the floodplain landscape was replaced by a post-floodplain landscape characteristic of valley-sukhodol [8].

Morphometric data on the degradation of watercourses in the Cretaceous south of the Central Chernozem Region indicate that this process is currently dominant in the development of the river network. The rate of change in the length of small river channels is recorded in a large range — from several meters to 500 m per year [11]. The most intensively decreases the length of river channels of the following rivers: Rossosh, Kantemirovka, Levaya Bogucharka, Malaya Mezhenka, Gavriilo, Manina, Mamonovka, Kriusha. Apparently, based on the direction of climatic changes, the tendencies of reducing the length of small river channels and disappearance of watercourses will continue, which will contribute to the formation of valley-sukhodol.

The balka-sukhodols, unlike valley-sukhodols, did not undergo fluvial development. Erosion diluvial process played a leading role in their formation [4]. The balka-sukhodols are devoid of floodplain alluvial deposits. Their flat bottoms are usually overlain by diluvia sediments over lying bedrock chalky-mergellic rocks. Increase in the length of balka-sukhodol is closely connected with the factors activating erosion processes. Regressive erosion plays a special role, predetermining the growth of balka-sukhodol towards their surface temporary watercourses.

Morphological features of sukhodols are reflected in their geomorphologic structure. In the Cretaceous south of the Black Chernozem Region, the most widespread sukhodols are rectilinear and tree-lake shaped with variable asymmetry of slopes, gentle and wide bottoms and a significant catchment area. Their morphological features are predetermined by geological and geomorphological factors. An example is the Bogucharsky Yar, located on the right bank of the Don River and extending from the southeastern vicinity of Novaya Kalitva village to the village of Tverdokhlebovka. The sukhodol is 25 km long, 1 to 1.5 km wide in the middle part (near the village of Bely Kolodets), 0.6 km wide at the top, 40 m deep, bottom slope 0.0032, catchment area 196 km². The tributaries of the main valley in the upper reaches give the valley a tree-shaped form in plan.

The rectilinear sukhodols are characterized by the absence of large tributaries and rectilinear strike, which, apparently, is associated with the location of tectonic fractures. The rectilinear sukhodols are widespread on the territory of the Kalach Upland. Most of them are confined to the Pirogovsky and Kalach tectonic uplifts, as well as to the newest local uplifts and structural lines of the Pavlovsko-Mamonsky trough [12]. For example, a group of sukhodols formed within the boundaries of the Gnilushansky local uplift has a clear orientation in accordance with the southwestern slope of the Kalach uplift. This is especially evident from the Prirechny sukhodols, which extends from the village of Russkaya Zhuravka to the village of Prirechnoye. Its morphological peculiarity is its rectilinear shape, which is preserved for 19 km, absence of tributaries and pronounced asymmetry of slopes.

Genesis of sukhodols. Cognition, rational use, optimization and management of development of sukhodols geosystems requires clear ideas about their origin and direction of development. At present, the origin and development trends of sukhodols landscapes of the Cretaceous south of the Black Chernozems Regions are insufficiently studied. This is evidenced by the lack of special studies devoted to this problem.

Analysis of available materials allows us to conclude that two groups of factors are involved in the formation of sukhodols: natural and anthropogenic. Natural prerequisites for formation and development of sukhodols depend on tectonics, climate, lithogenic base, surface runoff and denudation processes; anthropogenic prerequisites are predetermined by a high degree of land plowing and deforestation of watersheds, creation of ponds in the valleys of small rivers that retain runoff.

Tectonics and erosion play a special role in the origin of dry lands. This is indicated by the close connection of the distribution of sukhodols with local tectonic structures. Often, sukhodols are confined to the slopes of second-order tectonic uplifts (Kursk, Ostrogozhskoye, Kalachskoye, Pirogovskoye, Kantemirovskoye) and uplifts of the third order (Yemanchanskoye, Pukhovskoye, Sergeevskoye, Ilovskoye, Zhuravinskoye, Yuzhno-Kalachskoye, Timskoye), as well as to tectonic sags (Aidarsky, Potudansky, Pavlovsko-Mamonsky). Such dependence is obviously connected with increased fracturing and fragmentation in these places of themelo-mergel lithogenic base of dry dock basins, which promotes denudation of its rocks and formation of valley network.

Structural and dynamic organization of sukhodols landscapes. When considering landscape structure, sukhodols are referred to slope geosystems. This approach is used in landscape mapping and is reflected in landscape maps of the Central Chernozem Region (1961, 2000). Based on system analysis, sukhodols together with watershed landscapes form *basin paradynamic landscape systems*, the structural elements of which are land type associations (mestnosti in Russian classification), land types (urochishches) and sites (facies) covering both sukhodols and their watersheds. Sukhodols basin geosystems consist of two morphologically and genetically different landscape subsystems: valley and conjugate. They are close to the basin river subsystems — valley-river and watershed subsystems identified by F.N. Milkov [13].

Sukhodol landscape subsystem includes morphologically heterogeneous, genetically interconnected landscapes. General conditions of formation and genetic unity of structural elements of subsystems predetermine their paragenetic interrelationships supported by substance flows, the main of which is directed water flow — the leading factor in the formation of sukhodols landscapes. In the conditions of the Cretaceous south of the Central Chernozem Region, the main elements of sukhodols landscape subsystems are specific land type associations and landtypes. In valley-sukhodols they include post-floodplain, fluvial terrace above floodplain and slope landscapes; in balka-sukhodols – bottom and slope landscapes.

The conjugated landscape subsystem unites landscapes of the basin, which are interconnected by flows of matter and energy, but lack genetic unity. Within the Cretaceous south of the Central Chernozem Region, it may include geosystems of watershed, slope, hilly and terraced landscapes. Despite the differences in genesis, age, structure and dynamics of landscapes, the conjugate landscape subsystem is closely connected dynamically with the sukhodol subsystem. An example is the dependence of the development of erosion landscapes of sukhodols on the volume of runoff coming to them from watersheds. In turn, sukhodols act as a base of erosion and influence the formation of erosion landscapes of adjacent territories of their watersheds.

Results and Discussion

The structure of natural components of sukhodols. Often both valley-sukhodols and balka-sukhodols are present in large sukhodols. Valley-sukhodols ones are formed along the main flow channel, balka-sukhodols ones — along the main tributaries. An example of such sukhodols is the “Kuvshin”, located in Podgorensky District, Voronezh Region (Fig.). The sukhodol stretches from the villages of Vitebsk and Saprino to the village of Kuvshin. The area has a unique combination of diverse landscapes, including calcephitic-petrophytic, cereal and mixed-grass steppes with rare and relict elements of biota, oak forests and meadows. The uniqueness of the territory is emphasized by the created here reserve of regional significance — a natural monument of biological profile — the “Kuvshin” [14].

The geologic base of the sukhodol is formed by chalky-mergel deposits of the Turonian, Konyak and Santonian stages. The chalky deposits of the Turonian Stage are exposed in the middle parts of the slopes of south-western and western exposure (the left slope of the sukhodol), as well as in the sukhodol cutting through it. On the slopes of the northeastern and eastern exposures, the bedrock is everywhere overlain by Quaternary deluvial clayey-loamy sediments.

The “Kuvshin” is a classic sukhodols, its length along the longest thalweg is 11.3 km. The elevation difference between the source in the northwestern tip of the Buivolskiy Yar and the mouth is 115 m, with a maximum depth of 50 m in the lower reaches. The width varies from 320 m in the middle reaches to 1300 m at the mouth. In plan the sukhodols has a tree-shaped form, which is formed by a number of spurs — Buivolskiy Yar, Diakonov Yar (from the confluence of which the “Kuvshin” sukhodol begins), Kharobov Yar, Blizhnie and Dalnie Grushki, Manychensky and others. The largest is the right spurs of the “Kuvshin” sukhodol — the balka Kolodezhny Yar, which is more than 5.64 km long. The sukhodol extends meridionally from north to south, in the main valley it is characterized by predominantly left-lateral asymmetry of slopes (the left slope of the sukhodols is steeper and higher), which is broken in the middle part, where the relief form acquires a symmetrical trough-shaped profile. In the lower reaches, the valley has a right-lateral asymmetry, predetermined by the presence of an above-floodplain terrace along the left slope.

Large spurs also have a clearly pronounced asymmetric profile. The left spurs (Diakonov Yar, Kharobov Yar, and Blizhnie Grushki) are characterized by left-lateral asymmetry, while the right spurs (Kolodezhny, Dremov, and Zhelobok) are characterized by right-lateral asymmetry. At the same time, a curious regularity is noted: the slopes of northern exposures are mostly steeper than the slopes of southern exposures, which in this case contradicts the scientifically established opinion about the steeper slopes of southern exposures [15]. This situation can be explained, firstly, by the general slope of the macro-slope of the Central Russian Upland in the southeastern direction and, secondly, by the fall in the same direction of the thickness of chalky-mergel rocks, which contribute to the displacement of water flows and the formation of a typical slope asymmetry.

The left slope of the sukhodol is more diverse morphologically and landscape-wise. Its structure includes classical convexly-concave and complex terraced areas. The convex-concave slopes prevail, ranging in length from 150 m in the narrow part to 1 km in the widening part. Their steepness varies from 5–7° to 30°.

In the lower reaches of the sukhodols, the left slope is complicated by an erosion terrace 140–160 m wide, the surface of which lies 25–30 m above the bottom level. The terrace is a remnant of the bottom of an ancient Neogene valley re-deepened in post-glacial time. Below the ledge of the structural terrace is an accumulative terrace composed of alluvium and overlain by deluvial deposits. It is 3–5 m higher than the level of the bottom and may indicate the presence here in the past of a permanent watercourse with a floodplain regime.

The left slope is largely eroded, especially in the middle part and its lower reaches. There are 27 gullies in this section with a total length of 11.5 km. The density of erosional dissection of the slope is 2.35 km/km². The gullies formed here are of two types: lateral, cutting through the slope, and bottom gullies, formed along the bottom. High gully dissection of this territory is mainly connected with anthropogenic impact. Recent studies have shown that gullies growth has stopped.

The right slope of the gully is more uniform. Its height is 20–25 m lower than the left one; its width is stable and varies from 200 to 400 m, with a steepness of 10–15°. Everywhere the slope has a convex-concave profile, is devoid of outcrops of the chalky-mergel rocks on the surface, and is less eroded. The density of gully dissection is 0.8 km/km².

A distinctive feature of the “right bank” of the valley is the developed network of spurs. While the left slope is dominated by short (up to 1 km) gullies of postglacial age, the right slope is cut through by several large spurs, the formation of which occurred simultaneously with the main valley in the Neogene. These spurs have a tree-like shape, developed asymmetric profile, and morphometry similar to the main valley. The largest spur, the Kolodezhny Yar, is 5.64 km long, more than 1 km wide in the middle part and 50 m deep.

The bottom of the sukhodol is wide (up to 400 at the mouth), slightly concave, slightly inclined (up to 1°), complicated by deluvial plumes, cones of withdrawal and a fragmentary channel of a temporary water course.

The soils of the sukhodol is highly mosaic and consists of Haplic Chernozems, Calcic Chernozems, Haplic Greyzems, Residually Calcic Chernozems, Alluvial-deluvial soils and Haplic Solonetz. Haplic Chernozems are dominating. These soils are characteristic of near-valley slopes with steepness of 3–5°, slopes of the main valley and, surfaces of the structural terrace. Herbaceous-cereal steppes are preserved on unplowed areas of Haplic Chernozems.

Calcic Chernozems are fragmentary on the adjacent slopes of the main valley. Their widespread distribution may indicate a higher woodiness of the sukhodol in the preagricultural period. At present, these territories are occupied by herbaceous-cereal steppes, where tree and shrub vegetation are intensively restored.

Haplic Greyzems are formed under the preserved forest massifs (Kolodezhny, Dremov, Olgino, Legashev forest, etc.) in combination with Calcic Chernozems.

Significant areas of the valley slopes are occupied by medium- and highly washed out Residually Calcareous Chernozems in combination with outcrops of chalky-mergel rocks. They are characterized by a limited set of soil horizons, low thickness, and weak structure. The most valuable from the point of view of protection plant communities — calcephitic-petrophytic steppes with rare and relict elements of flora — are confined to Residually Calcareous Chernozems.

Alluvial-deluvial soils were formed everywhere along the bottom of the valley. They have layered-grained composition, predominantly heavy loamy and clayey mechanical composition and significant variability of humus horizon thickness.

Limited areas in the upper reaches of gullies Diakonov Yar and Yamka are occupied by Haplic Solonetz, which formation here is predetermined by close occurrence of saline Kiev clays of Paleogene age.

The vegetation of the “Kuvshin” sukhodols, despite significant anthropogenic changes, has managed to retain its classic forest-steppe appearance. It is obvious that in the past the forest cover of the territory was much higher, as evidenced by extensive areas of Calcic Chernozems, as well as intensive restoration of tree and shrub vegetation on all relief elements. Steppe communities occupy the leading role in the structure of vegetation cover.

The floristic composition of steppe communities is characterized by high diversity. There is a number of rare plant species included in the Red Books of the Russian Federation and Voronezh region. In the flora of herbaceous-cereal steppes are noted *Paeonia tenuifolia* L., one of the largest populations in the region and the only known place of growth of the form with pink corolla coloration, *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill., *Adonis vernalis* L., *Goniolimon tataricum* (L.) Boiss., *Crambe tataria* Sebeok, *Iris aphylla* L., *Goniolimon tataricum* (L.) Boiss., *Crambe tataria* Sebeok, *Artemisia sericea* Web. ex Stechm., *Astragalus pallescens* Bieb., and *Astragalus macropus* Bunge. The structure of communities is considerably represented by *Stipa*. There are up to 5 species of them on girder slopes and adjacent territories. Among them *Stipa zaleskii* Wilensky, *Stipa pulcherrima* K. Koch., *Stipa tirsia* Steven., *Stipa pennata* L. are included in the Red Book of the Russian Federation. Quite abundant are *Anemone sylvestris* L. a plant excluded from the last Red Data Book of the Voronezh region (2018), but at the same time they have not lost their value. In combination with herbaceous-cereal steppes, shrub communities dominated by *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klásk. are widespread.

On outcrops of chalky-mergel rocks and highly washed Residually Calcareous Chernozems, shrub communities dominated by *Hyssopus cretaceus* Dubjan. — a plant of the Red Book of the Russian Federation — are widespread. Many rare plant species are also recorded in the communities, including *Scrophularia cretacea* Fisch. ex Spreng., *Matthiola fragrans* Bunge, *Genista tanaitica* P. Smirn., *Artemisia salsoloides* Willd., *Artemisia hololeuca* Bieb. ex Bess., *Linum hirsutum* L.

Steppes with relict elements of flora grow on the slopes of western and southwestern exposure. They represent sparse groupings, species composition of which includes *Carex humilis* Leyss., *Alyssum lenense* Adams, *Schivereckia podolica* (Bess.) Andr. ex DC., *Polygala cretacea* Kotov, *Pimpinella tragium* Vill., *Onosma simplicissima* L., *Thymus calcareus* Klokov & Des.-Shost., *Thymus calcareus* Klokov & Des.-Shost., *Teucrium polium* L., *Clausia aprica* (Stephan) Korn.-Trotzky and a number of other species.

Dry meadows are widely developed along the bottom of the main valley and its spurs. The dominant species are *Elytrigia repens* (L.), Nevski and *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. Traditional for meadow community's species are widespread. Among them are common: *Ranunculus acris* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Salvia pratensis* L., *Poa pratensis* L., *Agrostis stolonifera* L., *Tanacetum vulgare* L., *Trifolium pratense* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Medicago lupulina* L., *Veronica spicata* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. and others. At present, the bottom is actively overgrown with tree and shrub vegetation.

Forests are confined mainly to the northwestern spurs of the valley and are represented by oak forests. Slope forests are relatively low-growing, maximum height of trees is 12-13 m, with an average trunk diameter of 22–26 cm. They have a single-tier, less often a double-tier structure. In two-tier communities, the first tier is dominated by *Quercus robur* L. with a small participation of *Fraxinus excelsior* L., the second tier up to 7 m high is formed by *Acer campestre* L., *Pyrus pyraeaster* Burgsd., *Euonymus europaeus* L., *Crataegus rhipidophylla* Gand., and *Prunus stepposa* Kotov. Along with *Quercus robur* L., *Populus tremula* L. grows in the first tier along the bottoms of gullies. The herbal tier of forests is dominated by *Carex pilosa* Scop.,

and less common are *Asarum europaeum* L., *Aegopodium podagraria* L., *Viola hirta* L., and *Glechoma hederacea* L.

Water shed forests are represented by two types — sedge oak forests on fresh habitats and herbaceous oak forests on dry habitats. The maximum age of trees in them is 50–60 years. In contrast to slope forests, watershed forests are characterized by a more complex structure. In such communities there are up to 3-4 tiers. The first tier up to 18 m high is dominated by *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L. and *Fraxinus excelsior* L.; the second tier (12–14 m) is dominated by *Acer platanoides* L. and *Tilia cordata* Mill. The third tier (7–9 m) is formed by *Acer campestre* L., *Malus sylvestris* Mill., and *Pyrus pyraeaster* Burgsd. The fourth tier up to 4 m high is dominated by shrubs: *Corylus avellana* L., *Euonymus europaeus* L., *Crataegus rhipidophylla* Gand. Steppe species such as *Rosa majalis* Herm., *Prunus stepposa* Kotov, *Cerasus fruticosa* Pall. are often found in the undergrowth.

A transitional type of plant communities is formed by sparse park-type forests formed on the slopes of the valley. Here, detached fruit trees and shrubs grow against the background of herbaceous-cereal steppes, giving the landscape a savannah appearance.

Along with natural communities in the valley there are cultural vegetation represented by agrophytoce-noses. Except for the vegetable gardens of Kuvshin village, the range of species in them in recent years is very limited and is represented by wheat, sunflower and sugar beet. The plowed fields occupy mainly the slopes with steepness up to 6°, as well as part of the bottom in the lower reaches of the valley.

The Landscape structure. Despite the large number of works on the problems of landscape differentiation, there are still a number of unresolved issues. One of them is internal landscape differentiation of large sukhodols with high mosaic of soil and vegetation cover.

Firstly, in classical landscape classifications, large and medium-sized sukhodols are not reflected as units of landscape differentiation. In some cases, they can be parts of land type association and landscape, in other cases they consist of several land type association and belong to different landscapes, in rare and most “successful” cases the boundaries of a gully coincide with the boundaries of a land type association.

Secondly, the complexity of the internal hierarchical organization of landforms in sukhodols creates difficulties in assigning local geosystems to any taxonomic rank.

Thirdly, the boundaries of soils even more uncertainty to landscape boundaries. Under conditions of high preservation of vegetation cover they are practically invisible and become obvious only during detailed soil survey.

Fourthly, the boundaries of plant communities add to the already complex picture of landscape boundaries. In one case, they can pass the boundaries of lithological differences, relief, soils, exposures and other conditions without visible changes, while in another case, they create many obvious contours within one elements of relief. Sometimes vegetation boundaries are formed in uncharacteristic places and for reasons that are not clear at first glance.

Such problems of defining landscape boundaries have been widely discussed in scientific literature in recent years [16–19]. K.N. Dyakonov and A.Yu. Reteyum for the definition of landscape boundaries propose to carry out “a clear contrast between the concepts of system and areal, which require completely different operations of delineation” [20]. A number of researchers rightly note that the formation of landscape boundaries is influenced by the features of the polystructural and polyscale organization of geographical space [21–25]. In particular, V.N. Solntsev, in this regard, suggests distinguishing independent geostationary, geocirculation and biocirculation systems in the landscape sphere [26].

A.V. Khoroshev explains the existing uncertainty of landscape boundaries by the mismatch of “characteristic times of landscape components and their different inertia” [27]. The author sees the solution to the problem in the creation of “cartographic models of the most probable combinations of properties of landscape components based on information about inter-level and inter-component relationships” [24].

Without going into further discussions about the complexity and multifaceted nature of landscape boundaries and approaches to their delineation by different authors, let us note the important points in our opinion:

- Each component can form its own boundary field and important boundaries for the final landscape differentiation;
- Within the boundaries of any local geosystem, special conditions different from neighboring geosystems are formed;
- When delineating the boundaries of any taxonomic rank, it is necessary to remember that special conditions different from neighboring landscapes are formed within its boundaries;

- It is necessary to consider that some of the non-obvious natural boundaries may become apparent when the functioning or use of a particular landscape changes.

It should also be taken into account that the created landscape map should be understandable to specialists from related fields, and the highlighted contours would be easily explained by the existing natural conditions. In this case, the possibility of applying such a map in practice increases significantly.

A striking example is landscape maps of land type associations proposed by F.N. Milkov [28]. They became the basis for the organization of agricultural land use in forest-steppe and steppe zones. Modern agro-ecological groups of lands are refined and detailed, analogues of terrain types.

On this basis, we should not completely ignore the classical approach of landscape delineation on the morpholithogenic basis, the controversial aspects of which have been objectively criticized in recent years [29]. But it is very relevant to supplement it with actually existing geobotanic, soil, anthropogenic and other boundaries. For the Central Chernozem Region such a methodology has been tested and applied since the 60s of the twentieth century. New trends in landscape delineation based on mathematical and statistical methods cannot yet fully replace classical approaches, but in recent years, especially in the light of the development of geoinformation modeling and neural networks have made a significant step forward.

The internal landscape structure of the sukhodols should be identified according to the classical methodology with the allocation of land types and sites. For this purpose, we can use the approaches to the systematic of elementary landscapes of the Central Russian forest-steppe developed by K.A. Drozdov [30].

When distinguishing land types and especially their species, it should be remembered that land types should remain rather large formations, have an area of several hectares, and if their further internal division is necessary, it should take place at the sites level.

Prevailing in the structure of landscapes of the "Kuvshin" sukhodols, the most diverse and valuable in ecological terms are land type slopes of valley (Fig.), represented by families of steppe, forest-steppe-savannah, forest and field complexes. Their internal structure differs markedly both in lithological and geomorphological features (from steep eroded chalk slopes to sloping loamy slightly eroded slopes) and in indigenous vegetation formations (herbaceous-cereal steppes, herbaceous steppes, oak forests, etc.). The soil cover is formed by banded combinations of Haplic, Calcic, Residually Calcareous Chernozems and Haplic Greyzems.

The land types of the valley bottom include families of meadow, forest, forest-steppe-savannah and field landscapes. They are more homogeneous lithologically and morphologically. They are complicated only by the short (20–30m) weakly isolated deluvial plumes and alluvial fans. The mosaicity of vegetation cover is largely related to economic activity. On mowed areas herbaceous meadows are preserved, while unmowed areas are overgrown with shrubs and fruit trees.

The land types of spurs of main valley represent a group of complex land types including small spurs up to 2 km long, up to 350 m wide and up to 25 m deep. Families are represented by steppe, forest-steppe-savannah, forest stand forest-steppe complexes. Lithologically and geomorphologically they are also diverse. In chalky-mergel sediments, short circular spurs are formed, and in loamy sediments, linear-extended spurs are formed. Bottom gullies are often formed along the bottoms of such spurs. The land types of spurs of main valley are characterized by a high mosaic of soil and vegetation cover, and in some cases it is difficult to determine the root formation, because several types of steppe and forest communities alternate. In such cases it is expedient to distinguish a separate family of *forest-steppe spurs*.

The land types of hollows differ from the land types of spurs by their smaller dimensions (up to 1 km in length, up to 100 m wide, up to 10 m deep) and simpler internal structure. They have a linear shape, often without lateral branches, symmetrical slopes and a bottom not wide up to 30 m. Families of tracts are represented by steppe, forest and forest-steppe landscapes.

The land types of gullies include bottom and slope erosion forms that are more than 300 m long and more than 3 m deep. Gullies have a complex structure of vegetation cover, where there is an alternation of bare patches with steppe and overgrown woody and shrub vegetation on the slopes and bottom. In this regard, families of land types of gullies should be differentiated into steppe, where tree-shrub-vegetation is fragmentary and does not play a leading role, and forest-steppe, within which more than one third of the area is covered with shrub and tree communities. Since gullies are a kind of free fields for the development of biotopes and the final formation that will be formed in them is not obvious, the selection of families and especially land type's species should be carried out taking into account the current vegetation situation.

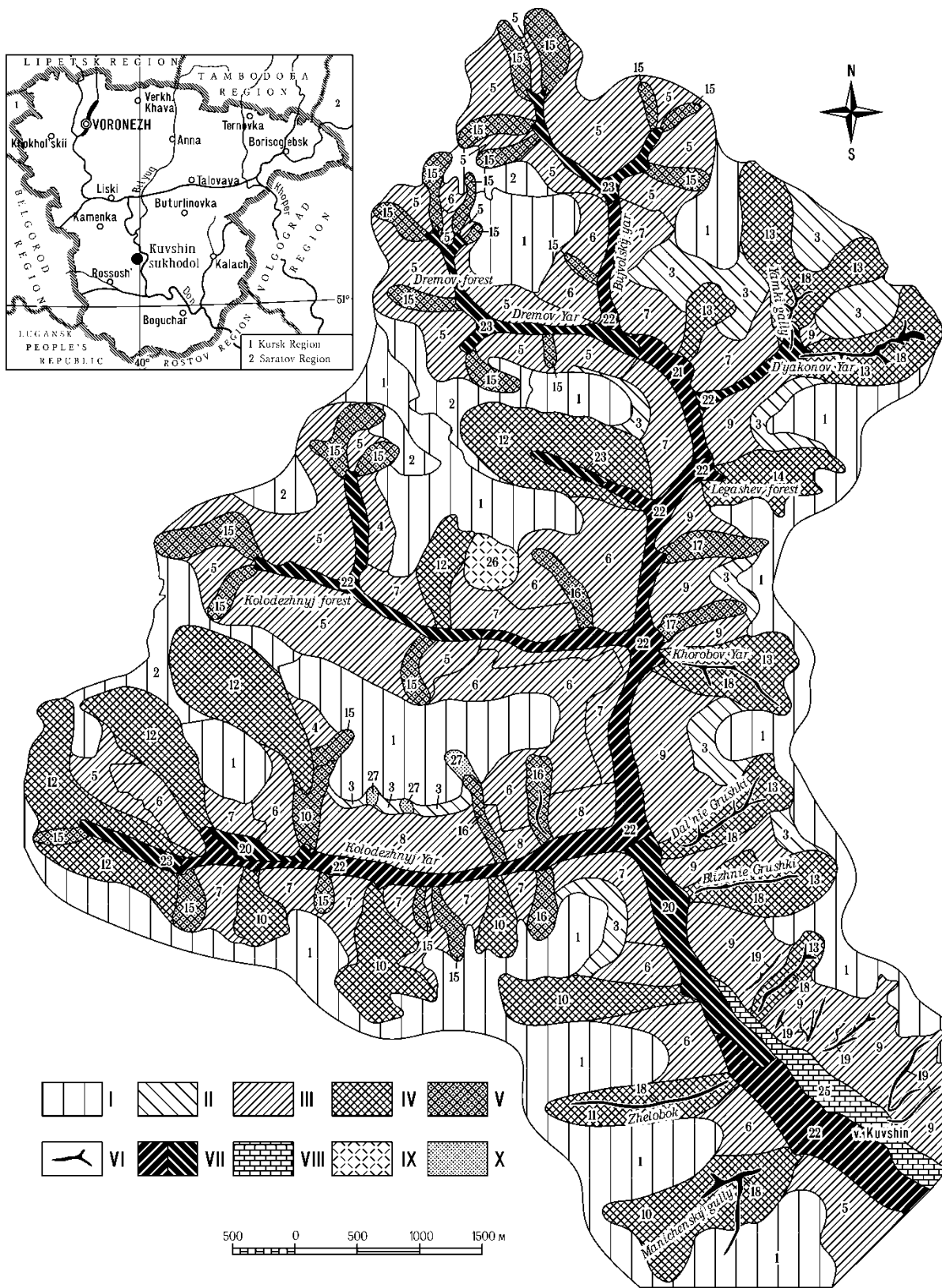


Figure. Landscape map of the "Kuvshin" sukhodols

Legend: *I – The land types slightly sloping (up to 3°) plakors:* 1 – with agrophytocoenoses on combinations of Haplic and Calcic Chernozems medium-humus, heavy loamys; 2 – with sedge oak forests and herbaceous oak forests on Haplic Greyzem slow-humus, heavy loamy. *II – The land types of slightly sloping (3–6°) watersheds:* 3 – with agrophytocoenoses and ash forest belts on Haplic Chernozems low-humus, medi-

um thick, heavy loamy. **III – The land types of slopes:** 4 – loamy slopes of medium steepness (12–15°) with sedge oak forests and shrubby-herbaceous steppes on combinations of Haplic Greyzems medium washed out, heavy loamy and Calcic Chernozems low humus, medium washed out, heavy loamy; 5 – loamy beam slopes of medium steepness (8–15°) with sedge oak forests on combinations of Haplic Greyzems medium washed out, heavy loamy and Residually Calcareous Chernozems low-humus medium washed out, medium loamy; 6 – loamy beam slopes of medium steepness (10–12°) with agrophytocenoses on Haplic Chernozems low-humus, medium washed out, heavy loam; 7 – steep (17–20°) loamy-chalky beam slopes with shrubby-herbaceous-cereal steppes on Residually Calcareous Chernozems of different degrees of washed out, light loamy; 8 – loamy-chalky beam slopes of medium steepness (8–14°) with herbaceous-cereal steppes on combinations of Haplic Chernozems low-humus, medium washed out, medium loamy and Residually Calcareous Chernozems medium washed out, light loamy; 9 – eroded chalk steep (15–25°) slopes with shrubby-herbaceous-cereal steppes on combinations of outcrops of chalk rocks and Residually Calcareous Chernozems of medium and strongly washed out, medium loam. **IV – The land types of spurs of main valley:** 10 – in loamy-chalk sediments with sedge oak forests and shrubby-herbaceous steppes on combinations of Calcic Chernozems and Residually Calcareous Chernozems medium washed out, loamy; 11 – in loamy-chalky sediments with sedge oak forests, herbaceous steppes and agrophytocenoses on combinations of Calcic Chernozems and Residually Calcareous Chernozems medium washed, loamy; 12 – in loamy sediments with sedge oaks forests on combinations of Haplic Greyzems weakly humus, heavy loamy and Calcic Chernozems weakly humus, heavy loamy, weakly washed out; 13 – in chalky-mergel sediments with shrubby-herbaceous steppes, and herbaceous steppes on combinations of outcrops of chalky-mergel rocks and Residually Calcareous Chernozems of different degrees of washing out, medium and light loamy; 14 – in chalky-mergel sediments with pear oak forests and herbaceous steppes on combinations of outcrops of chalky-mergel rocks, Haplic Chernozems and leached Residually Calcareous Chernozems, medium washed out, medium-loamy. **V – The land types of hollows:** 15 – in loamy sediments with sedge oak forests on Haplic Greyzems medium washed out, heavy loamy; 16 – in loamy sediments with shrubby-herbaceous steppes on Residually Calcareous Chernozems medium washed out, medium loamy; 17 – in chalky-mergel sediments with herbaceous steppes on combinations of chalky-mergel outcrops and Residually Calcareous Chernozems medium washed out, medium loamy. **VI – The land types of gullies:** 18 – in loamy-chalky sediments with sparse herbaceous and tree-shrub communities on rock outcrops; 19 – in chalky sediments with sparse shrubby-herbaceous communities on rock outcrops. **VII – The land types of the valley bottom:** 20 – loamy flat bottoms with agrophytocenoses on alluvial-deluvial heavy-loamy soils; 21 – loamy weakly concave bottoms with herbaceous meadows on alluvial-deluvial carbonate heavy-loamy soils; 22 – loamy weakly concave bottoms with herbaceous meadows, fruit trees and shrubs communities on alluvial-deluvial carbonate heavy loamy soils; 23 – clay-loam weakly inclined (2–4°) weakly concave bottoms with aspen-oak forests communities on alluvial-deluvial carbonate heavy-loamy soils; 24 – clay-loam weakly concave bottoms with sedge oak forests and herbaceous meadows on alluvial-deluvial carbonate heavy loamy soils. **VIII – The land type of fluvial terrace above floodplain:** 25 – loamy terrace with rural settlement on alluvial-deluvial carbonate heavy loamy soils. **IX – The land type of erosion hill:** 26 – with herbaceous oak forests on Haplic Greyzems low-humus, heavy loamy; **X – The land type of dells:** 27 – plowed drainage hollows with agrophytocenoses on Haplic Chernozems low-humus, medium thick, clayey.

The land types of slightly sloping (3–6°) water sheds occupy loamy sloping surfaces with a steepness of 3–6°. Their soil cover is dominated by weakly washed out Haplic Chernozems, with fragmentary occurrence of washed out Calcic Chernozems. The vegetation cover is dominated by agrophytocenoses interspersed with the forest strips. In the northeast of the territory the watersheds are occupied by oak forests on Haplic Greyzems.

The land type of dell complicates the watersheds and above-lying plateaus, giving them an undulating appearance. They are plowed everywhere, but at the same time they preserve specific landscape conditions due to runoff concentration, soil overwatering, and activation of erosion processes in the slope.

Altitudinal organization of landscapes. Since the Kuvshin sukhodols is characterized by a rather large erosion incision for flat areas (up to 50 m), local landscapes of site level tend to change in height, forming morphologically and dynamically similar altitudinal-landscape systems [31, 32]. In this case, the approach with the separation of slope microzones [33] is not always possible to apply especially on well sodded or highly eroded slopes, where denudation, transit and accumulation zones have very blurred outlines, but at the same time the altitudinal differences in vegetation are still traceable. Without denying the existence of mi-

crozones, we propose to transform them into somewhat enlarged slope layer: upper sloping, middle steep, lower gentle, and, if necessary, to reveal layer internal structure at the expense of smaller units (sub-layer) in relation to microzones.

Thus, for example, the sub-layer of the left slope of the valley in the middle reaches from top to bottom will be: the slightly sloping watersheds with agrophytocenoses on Haplic Chernozems low-humus, weakly washed out (above 150 m); the slightly sloping water sheds with forest belts on Haplic Chernozems low-humus, weakly washed out (147–150 m); steep upper parts of slopes with *Stipa pennata* — *Varii herbetum* — *Prunus stepposa* communities on Residually Calcareous Chernozems of low-humus, medium washed out (140–147 m); steep upper parts of slopes with sparse *Hyssopus cretaceus* — *Varii herbetum* communities on chalky outcrops (133–140 m); steep middle parts of slopes with sparse *Chamaecytisus ruthenicus* — *Varii herbetum* — *Stipa pennata* communities on Residually Calcareous Chernozems of low-humus, strongly washed out (115–133 m); lower parts of slopes of medium steepness with *Paeonia tenuifolia* — *Varii herbetum* communities on Residually Calcareous Chernozems low-humus, medium washed out (102–115 m); gentle deluvial plumes of bottom with *Euphorbia vergata* — *Elytrigia repens* — *Pyrus pyrastra* communities on alluvial-deluvial soils (below 102 m). It is noteworthy that the set of sub-layers can differ significantly for different slopes and parts of the valley.

Conclusion

Thus, a number of conclusions can be drawn as a result of this study:

- Given the high level of research of landscapes of the Voronezh Region, there are practically no works in scientific literature devoted to the organization of landscapes of sukhodols; therefore, the landscape status of sukhodols has not been determined yet and the problems of their internal landscape differentiation have not been solved;

- The sukhodols in the Cretaceous south of the Center Chernozem Region are genetically heterogeneous. Most of them are the result of degradation of watercourses (mainly small rivers) and intensive manifestation of linear erosion.

- The origin of sukhodols is reflected in their morphology and structural-dynamic organization of landscapes. Two main morphological-genetic types of sukhodols have developed in the region under consideration: valley- and balka-sukhodols. Together with the landscapes of their basins, sukhodols form basin paradigmatic landscape systems, consisting of valley subsystems and conjugate subsystems, the main link of which is directed surface water runoff;

- Consideration of genesis, structural and dynamic organization and development of sukhodols landscapes is necessary for solving problems related to rational nature management and optimization of landscape-ecological situation in the Cretaceous south of the Central Chernozem region.

- Formation of local landscape boundaries within the gully can occur both under the influence of lithological and geomorphological factors and as a result of changes in the state of the biotom within one morpholithogenic unit;

- Landscape organization of sukhodols can be considered from several positions; this paper presents approaches to component, territorial and altitudinal organization of landscapes;

- The existing protection status of the territory of the “Kuvshin” sukhodols clearly does not correspond to its internal content. The category of a natural monument of regional significance is too small for such an object. Even today there are all territorial and natural prerequisites for expanding the boundaries of the protected area and increasing its status to a nature park. In the future, it is possible to organize a forest-steppe reserve, which is so necessary for the region and the entire Central Chernozem Region, including, along with the valley, the protected areas of the Don Belogorye, the well-preserved Don flood plain and part of the left-bank fluvial terrace above flood plain terraces. The first priority task is to eliminate the obvious contradiction in the form of a combination of protected areas and hunting.

References

- 1 Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка / В.И. Даль. — СПб.: Изд. дом «Вес», 2004. — 560 с.
- 2 Ожегов С.И. Словарь русского языка / С.И. Ожегов. — М.: Русский язык, 1986. — 797 с.
- 3 Ахромеев Л.М. Геоморфологический словарь-справочник / Л.М. Ахромеев. — Брянск: Изд-во Брян. гос. ун-та, 2002. — 320 с.
- 4 Прохоров А.М. Большая советская энциклопедия / А.М. Прохоров. — М.: Сов. энцикл., 1976. — Т. 25. — 647 с.

- 5 Мильков Ф.Н. Терминологический словарь по физической географии / Ф.Н. Мильков, А.В. Бережной, В.Б. Михно. — М.: Высш. шк., 1993. — 288 с.
- 6 Михно В.Б. Генезис структурно-динамическая организация ландшафтов суходолов мелового юга Центрального Черноземья / В.Б. Михно // Региональные ландшафтные исследования. — 2022. — № 6. — С. 92–98.
- 7 Дмитриева В.А. Гидрологическая изученность Воронежской области / В.А. Дмитриева. — Воронеж: Изд.-полиграф. центр Воронеж. гос. ун-та, 2008. — 225 с.
- 8 Mikhno V.B. Features of transformation of small river basins in Voronezh Region / V.B. Mikhno, E.V. Kandybko // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology. — 2006. — No 1. — P. 9–16.
- 9 Курдов А.Г. Водные ресурсы Воронежской области / А.Г. Курдов. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1995. — 207 с.
- 10 Михно В.Б. Пространственно-временные изменения ландшафтов Центрального Черноземья / В.Б. Михно // Вестн. Воронеж. отд. Рус. геогр. общ-ва. — 2000. — Т 2, № 1. — С. 3–8.
- 11 Zhigulina E.V. Forecasting changes in landscapes of small river basins in Voronezh Region / E.V. Zhigulina, V.B. Mikhno // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology. — 2013. — No. 1. — P. 172–178.
- 12 Раскатов Г.И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы / Г.И. Раскатов. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1969. — 164 с.
- 13 Milkov F.N. River basin as a paradynamic landscape system and issues of nature management / F.N. Milkov // Geography and Natural Resources. — 1981. — No 4. — P. 11–18.
- 14 Горбунов А.С. Вопросы ландшафтной организации балочных форм рельефа (на примере балки «Кувшин», Подгорецкого района Воронежской области) / А.С. Горбунов // Региональные ландшафтные исследования. — 2020. — № 4. — С. 72–90.
- 15 Khrutskii S.V. Formation of small flat-bottom valleys in connection with climatic changes in Pleistocene / S.V. Khrutskii // Geomorphology — 1985. — No 1. — P. 17–21.
- 16 Бобра Т.В. Ландшафтные границы: выявление, анализ, картографирование / Т.В. Бобра. — Симферополь, 2005. — 167 с.
- 17 Chernykh D.V. On landscape boundaries: an unorthodox view of a physical geographer / D.V. Chernykh // International Journal of Cultural Research. — 2015. — Vol. 4(21). — P. 63–72.
- 18 Khoroshev A.V. Functional-dynamic approach to studying landscape boundaries / A.V. Khoroshev // Regional research. — 2022. — Vol. 3(77). — P. 60–70. <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-3-6>
- 19 Михно В.Б. Физико-географическое районирование / В.Б. Михно, А.С. Горбунов. — Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2022. — 278 с.
- 20 Dyakonov K.N. On interaction of the landscape and the Earth Sciences. Current landscape-ecological state and problems of optimization of the natural environment of the regions / K.N. Dyakonov, A.Yu. Reteyum // Proceedings of the XIII International landscape conference is dedicated to the 100th anniversary of the birth of F.N. Milkov. — 2018. — Vol. 1. — P. 78–80.
- 21 Коломыйц Е.Г. Полиморфизм ландшафтно-зональных систем / Е.Г. Коломыйц. — Пушино: Изд-во Отдела науч. и тех. инф. Пушин. науч. центра РАН, 1998. — 311 с.
- 22 Grodzinskiy M.D. Piznannya landshaftu: misce i prostir: u 2-h t / M.D. Grodzinskiy. — Kiïv: Vidavnicho-poligrafichnij centr «Kiïv'kij universitet», 2005. — 242 с.
- 23 Puzachenko Yu.G. Landscape organization / Yu.G. Puzachenko // Problems of geography. — 2014. — Vol. 138. — P. 35–64.
- 24 Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта / А.В. Хорошев. — М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. — 416 с.
- 25 Bokov V.A. Forms of landscapes polystructure. Theoretical and applied problems of landscape geography / V.A. Bokov // VII Milkov Readings: Proceedings of the XIV International Landscape Conference. — 2023. — Vol. 1. — P. 15–17.
- 26 Солнцев В.Н. Использование GPS- и GIS-технологий для изучения особо охраняемых природных территорий (на примере Воронежского государственного природного биосферного заповедника) / В.Н. Солнцев, О.В. Ружков, О.В. Трегубов, Б.А. Алексеев, Н.Н. Калущкая, А.А. Анциферова. — Тула: Гриф и Ко., 2006. — 216 с.
- 27 Khoroshev A.V. Modern trends in structural landscape study / A.V. Khoroshev // Proceedings of Russian Academy of Science, series Geography. — 2016. — Vol. 3. — P. 7–15.
- 28 Мильков Ф.Н. Типы местности и ландшафтные районы Центральных Черноземных областей (к вопросу выделения региональных и типологических единиц в ландшафтной географии) / Ф.Н. Мильков // Изв. Всесоюз. геогр. общ-ва. — 1954. — Т. 86, № 4. — С. 336–346.
- 29 Kolbovskii E.Y. Does a natural landscape exist: an epistemological analysis of the phenomenon / E.Y. Kolbovskii // Proceedings of the Russian Geographical Society. — 2013. — Vol. 145(5). — P. 49–66.
- 30 Дроздов К.А. Систематика локальных комплексов как одно из перспективных направлений современного ландшафтоведения / К.А. Дроздов // Региональные ландшафтные исследования. — 2000. — № 6. — С. 60–64.
- 31 Gorbunov A.S. Structural organization of altitudinal landscape complexes of Central Russian forest-steppe zone / A.S. Gorbunov, O.P. Vykovskaya // Landscape geography in the 21st century. — Simferopol, 2018. — P. 101–104.
- 32 Gorbunov A.S. Altitudinal Landscape Complexes of the Central Russian Forest-Steppe / A.S. Gorbunov, V.B. Mikhno, O.P. Vykovskaya, V.N. Bevz // Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series. — 2020. — Vol. 26. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_14
- 33 Мильков Ф.Н. Склоновая микрозональность ландшафтов / Ф.Н. Мильков // Ландшафтная география: избр. тр. — Воронеж, 2018. — С. 70–73.

А.С. Горбунов, В.Б. Михно, О.П. Быковская

Орталық Қара топырақты аймағының оңтүстігіндегі борлы құрғақ аңғарлардың құрылымдық және морфологиялық орналасуы

Орталық Қара топырақты аймақтың оңтүстігіндегі борлы құрғақ алқаптық ландшафтардың шығу тегі, морфологиялық және генетикалық сұрыптары, құрылымдық-динамикалық байланыстары қарастырылған. Құрғақ алқаптардың генезисі, морфологиясы, дамуы және ландшафтық құрылымы туралы заманауи түсініктер берілген. Бассейндік ландшафтық жүйелердің құрылымдық элементтерінің парадинамикалық байланыстары айтылған. Табиғатты пайдалану мәселелерін шешуде және Орталық Қара топырақты аймақтың оңтүстігіндегі борлы ландшафтық-экологиялық жағдайды оңтайландыруда құрғақ жерлердің ландшафтық ерекшеліктерін ескеру қажеттілігі атап өтілген. Мысал ретінде Воронеж облысының Подгоренский ауданында орналасқан Кувшинской құрғақ алқабының ірі құрғақ аңғарларындағы табиғи кешендердің құрамдас, аумақтық және жоғары орналасуы талданған. Ландшафт дифференциациясының негізгі факторлары анықталды, олардың ішінде морфолитогендік негіздің ерекшеліктері, биостроманың даму сипаты, қазіргі экономикалық пайдалану. Жергілікті ландшафт шекараларын анықтау мәселелері және оларды шешу тәсілдері атап өтілді. Зерттеу нәтижелері бойынша алқап ішінде 7 тұқымдас және 45 жер типтері, сондай-ақ биік ландшафт қабаттары мен ішкі қабаттар анықталды. Аумақтың табиғатты қорғау мәртебесін өзгерту бойынша ұсыныстар берілді.

Кілт сөздер: құрғақ аңғарлар, ландшафт генезисі, ландшафт құрылымы, парагенетикалық ландшафт жүйелері, ландшафтардың полиқұрылымы.

А.С. Горбунов, В.Б. Михно, О.П. Быковская

Структурная и морфологическая организация сухих долин мелового юга Центрально-Черноземного региона

Рассмотрены особенности происхождения, морфологические и генетические разновидности, структурно-динамические взаимосвязи сухих долинных ландшафтов мелового юга Центрального Черноземья. Зафиксированы современные представления о генезисе, морфологии, развитии и ландшафтной структуре суходолов. Выявлены парадинамические взаимосвязи структурных элементов бассейновых ландшафтных систем. Подчеркивается необходимость учета ландшафтной специфики засушливых земель при решении проблем природопользования и оптимизации ландшафтно-экологической ситуации на меловом юге Центрального Черноземья. В качестве примера проанализирована компонентная, территориальная и высотная организация природных комплексов крупного суходола Кувшинской засушливой долины, расположенной в Подгоренском районе Воронежской области. Установлены основные факторы ландшафтной дифференциации, среди которых особенности морфолитогенной основы, характер развития биостромы, современное хозяйственное использование. Отмечены проблемы выявления локальных ландшафтных границ и подходы к их решению. По результатам исследования в пределах долины выделено 7 семейств и 45 видов наземных типов, а также высотные ландшафтные слои и подслои. Даны рекомендации по изменению природоохранного статуса территории.

Ключевые слова: сухие долины, генезис ландшафтов, структура ландшафтов, парагенетические ландшафтные системы, полиструктурность ландшафтов.

References

- 1 Dal, V.I. (2004). *Tolkovyi slovar zhivogo velikoruskogo yazyka [Explanatory Dictionary of the Living Great Russian Language]*. Sankt-Petersburg: Izdatelskii dom «Ves» [in Russian].
- 2 Ozhegov, S.I. (1986). *Slovar russkogo yazyka [Russian dictionary]*. Moscow: Russkii yazyk [in Russian].
- 3 Akhromeev, L.M. (2002). *Geomorfologicheskii slovar-spravochnik [Geomorphological Dictionary-Reference Book]*. Bryansk: Izdatelstvo Brianskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].
- 4 Prokhorov, A.M. (1976). *Bolshaia sovetskaia entsiklopediia [Big Soviet Encyclopedia]*. Moscow: Sovetskaia entsiklopediia [in Russian].
- 5 Milkov, F.N., Berezhnoi, A.V., & Mikhno, V.B. (1993). *Terminologicheskii slovar po fizicheskoi geografii [Terminological dictionary of physical geography]*. Moscow: Vysshiaia shkola [in Russian].
- 6 Mikhno, V.B. (2022). Genesis i strukturno-dinamicheskaia organizatsiia landshaftov sukhodolov melovogo yuga Tsentralnogo Chernozemiia [Genesis structural-dynamic organization of landscapes of dry valleys in the Cretaceous south of the Central Black Earth Region]. *Regionalnye landshaftnye issledovaniia — Regional landscape research*, 6, 92–98 [in Russian].
- 7 Dmitrieva, V.A. (2008). *Gidrologicheskaiia izuchennost Voronezhskoi oblasti [Hydrological study of the Voronezh Region]*. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskii tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].

- 8 Mikhno, V.B. & Kandybko, E.V. (2006). Features of transformation of small river basins in Voronezh Region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1; 9–16.
- 9 Kurdov, A.G. (1995). *Vodnye resursy Voronezhskoi oblasti [Water resources of the Voronezh Region]*. Voronezh: Izdatelstvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].
- 10 Mikhno, V.B. (2000). Prostranstvenno-vremennye izmeneniia landshaftov Tsentralnogo Chernozem'ia [Spatiotemporal changes in the landscapes of the Central Black Earth Region]. *Vestnik Voronezhskogo otdela Russkogo geograficheskogo obshchestva — Bulletin of the Voronezh Department of the Russian Geographical Society*, 2(1), 3–8 [in Russian].
- 11 Zhigulina, E.V. & Mikhno, V.B. (2013). Forecasting changes in landscapes of small river basins in Voronezh Region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1; 172–178.
- 12 Raskatov, G.I. (1969). *Geomorfologiya i neotektonika territorii Voronezhskoi anteklizy [Geomorphology and neotectonics of the Voronezh Anticline territory]*. Voronezh: Izdatelstvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].
- 13 Milkov, F.N. (1981). River basin as a paradynamic landscape system and issues of nature management. *Geography and Natural Resources*, 4; 11–18.
- 14 Gorbunov, A.S. (2020). Voprosy landshaftnoi organizatsii balochnykh form reliefa (na primere balki «Kuvshin», Podgoretskogo raiona Voronezhskoi oblasti) [Issues of landscape organization of beam relief forms (using the example of the “Kuvshin” beam, Podgoretsky district, Voronezh region)]. *Regionalnye landshaftnye issledovaniia — Regional landscape research*, 4, 72–90 [in Russian].
- 15 Khrutskii, S.V. (1985). Formation of small flat-bottom valleys in connection with climatic changes in Pleistocene. *Geomorphology*, 1; 17–21.
- 16 Bobra, T.V. (2005). *Landshaftnye granitsy: vyavlenie, analiz, kartografirovaniye [Landscape boundaries: identification, analysis, mapping]*. Simferopol [in Russian].
- 17 Chernykh, D.V. (2015). On landscape boundaries: an unorthodox view of a physical geographer. *International Journal of Cultural Research*, 4(21); 63–72.
- 18 Khoroshev, A.V. (2022). Functional-dynamic approach to studying landscape boundaries. *Regional research*, 3(77); 60–70. <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-3-6>
- 19 Mikhno, V.B. & Gorbunov, A.S. (2022). *Fiziko-geograficheskoe raionirovaniye [Physical geographical regionalization]*. Voronezh: Izdatelskii dom Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].
- 20 Dyakonov, K.N. & Reteyum, A.Yu. (2018). On interaction of the landscape and the Earth Sciences. Current landscape-ecological state and problems of optimization of the natural environment of the regions. *Proceedings of the XIII International landscape conference is dedicated to the 100th anniversary of the birth of F.N. Milkov*, 1; 78–80.
- 21 Kolomyts, E.G. (1998). *Polimorfizm landshaftno-zonnykh sistem [Polymorphism of landscape-zonal systems]*. Pushchino: Izdatelstvo Otdela nauchnoi i tekhnicheskoi informatsii Pushchinskogo nauchnogo tsentra RAN [in Russian].
- 22 Grodzinskiy, M.D. (2005). *Piznanna landshaftu: misce i prostir: u 2-h t. [Cognition of the landscape: place and space]* Kiïv: Vidavnicho-poligrafichnij centr «Kiïvc'kij universitet» [in Ukrainian].
- 23 Puzachenko, Yu.G. (2014). Landscape organization. *Problems of geography*, 138, 35–64.
- 24 Khoroshev, A.V. (2016). *Polimasshtabnaia organizatsiia geograficheskogo landshafta [Polyscale organization of the geographical landscape]*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniï KMK [in Russian].
- 25 Bokov, V.A. (2023). Forms of landscapes polystructure. Theoretical and applied problems of landscape geography. *VII Milkov Readings: Proceedings of the XIV International Landscape Conference*, 1; 15–17.
- 26 Solntsev, V.N., Ryzhkov, O.V., Tregubov, O.V., Alekseev, B.A., Kalutskaya, N.N., & Antsiferova, A.A. (2006). *Ispol'zovanie GPS- i GIS-tehnologii dlia izucheniia osobo okhranaemykh prirodnykh territorii (na primere Voronezhskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika) [Use of GPS and GIS technologies to study protected areas (on the example of the Voronezh State Natural Biosphere Reserve)]*. Tula: Grif i Ko. [in Russian].
- 27 Khoroshev, A.V. (2016). Modern trends in structural landscape study. *Proceedings of Russian Academy of Science, Geography series*, 3; 7–15.
- 28 Milkov, F.N. (1954). Tipy mestnosti i landshaftnye raiony Tsentralnykh Chernozemnykh oblastei. (K voprosu vydeleniia regionalnykh i tipologicheskikh edinit v landshaftnoi geografii) [Types of terrain and landscape areas of the Central Chernozem regions (on the issue of identifying regional and typological units in landscape geography)]. *Izvestiia Vsesoiuznogo geograficheskogo obshchestva — News of All-Union Geographical Society*, 86(4), 336–346 [in Russian].
- 29 Kolbovskii, E.Y. (2013). Does a natural landscape exist: an epistemological analysis of the phenomenon. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 145(5); 49–66.
- 30 Drozdov, K.A. (2000). Sistematika lokalnykh kompleksov kak odno iz perspektivnykh napravlenii sovremennogo landshaftovedeniia [Systematics of local complexes as one of the promising areas of modern landscape science]. *Regionalnye landshaftnye issledovaniia — Regional landscape research*, 6, 60–64 [in Russian].
- 31 Gorbunov, A.S., & Bykovskaya, O.P. (2018). Structural organization of altitudinal landscape complexes of Central Russian forest-steppe zone. *Landscape geography in the 21st century*, 101–104. Simferopol.
- 32 Gorbunov, A.S., Mikhno, V.B., Bykovskaya, O.P., & Bezv, V.N. (2020). Altitudinal Landscape Complexes of the Central Russian Forest-Steppe. *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series*, 26. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_14
- 33 Milkov, F.N. (2018). Sklonovaia mikrozonálnost landshaftov [Slope micro zoning of landscapes]. *Landshaftnaia geografiia: izbrannye trudy — Landscape geography: selected papers*. Voronezh, 70–73 [in Russian].

Information about authors

Gorbunov, Anatoly Stanislavovich — Candidate of geographical sciences, Docent, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; gorbunov.ol@mail.ru;

Mikhno, Vladimir Borisovich — Doctor of geographical sciences, Professor of Department of Physical Geography and Landscape Optimization, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; root@geogr.vsu.ru;

Bykovskaya, Olga Petrovna — Candidate of geographical sciences, Docent of Department of Physical Geography and Landscape Optimization, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; deanery@geogr.vsu.ru.

М.В. Зяблинцева^{1,2*}, Д.В. Черных^{1,3}, А.В. Грибков²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия;

²Государственный природный заповедник «Тигирекский», Барнаул, Россия;

³Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

*Автор для корреспонденции: zyablintseva.rita@mail.ru

Федеральные особо охраняемые природные территории Алтайского края: современное состояние и перспективы развития

Одна из важнейших глобальных проблем современности — сохранение природной среды. Гарантией эффективного сохранения природно-территориальных комплексов региона является создание сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которая обладает репрезентативностью по отношению к ландшафтному и биологическому разнообразию. Также известно, что более строгий режим охраны, который характерен для заповедников и национальных парков, способствует успешной реализации задач охраны природы. В статье рассмотрено современное состояние ООПТ федерального значения Алтайского края — Государственного природного заповедника «Тигирекский» и Национального парка «Салаир», а также перспективы создания проектируемого Национального парка «Горная Кольвань». Показано, что действующие и проектируемая федеральные ООПТ в крае располагаются только лишь в его горной части, а природные комплексы равнинной части края, которые также обладают большой природоохранной ценностью, охраняются лишь режимами заказников и памятников природы регионального значения. Площадь федеральных ООПТ за последнее время в крае увеличена с 0,25 до 1,5 % от площади региона, что является одним из самых низких показателей по региону Сибирского Федерального округа. Создание Национального парка «Горная Кольвань» играет большую роль в сохранении природного разнообразия историко-культурного наследия Северо-Западного Алтая, позволяет объединить разрозненные региональные ООПТ в единое целое на организационном уровне. В случае создания данной ООПТ и придания охранной зоне заповедника федерального статуса доля федеральных охраняемых территорий возрастет до 2,5 % от площади края.

Ключевые слова: охрана природы, ООПТ, Алтайский край, заповедник «Тигирекский», Национальный парк «Салаир», Национальный парк «Горная Кольвань», Алтай.

Введение

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) являются одним из эффективных инструментов сохранения разнообразия природной среды, особенно сейчас, в условиях усиленного антропогенного воздействия на природные комплексы [1–4]. За последние несколько десятилетий идеология заповедного дела претерпела заметное изменение. В настоящее время охраняемые территории создаются не только для сохранения эталонных ландшафтов и обеспечения среды обитания для редких и находящихся под угрозой исчезновения видов, но и для выполнения ряда других функций: решения социальных и экономических задач путем развития туризма; смягчения последствий изменения климата и адаптации к нему. Важно отметить, что эти новые требования должны являться дополнением, а не заменой более ранних мотиваций [5]. Расширение функций ООПТ, безусловно, делает задачу их организации более актуальной, способствуя увеличению их площадей по всему миру. Отдельные авторы и организации указывают разные значения минимальной площади ООПТ от площади страны/региона [6], однако большинством исследователей признается, что для достижения минимальной репрезентативности взятые под охрану ландшафты должны занимать не менее 10 % [7, 8]. По данным Росстата за 2022 год [9], в РФ насчитывается 11,9 тыс. ООПТ федерального, регионального и местного значения общей площадью 244,3 млн га, что превышает 10 % площади страны. Тем не менее, одним из гарантов сохранения ландшафтного и биологического разнообразия является строгий режим охраны территории, запрещающий или строго регламентирующий хозяйственную деятельность. В России наиболее строгим режимом особой охраны характеризуются такие категории ООПТ, как государственные природные заповедники и национальные парки. Кроме того, данные категории относятся к объектам федерального уровня, что дает им больше ресурсов для обеспечения режима охраны. Поэтому при анализе сети ООПТ региона большое значение имеют именно объекты федерального значения.

Целью работы является оценка текущего состояния и возможного развития федеральных ООПТ Алтайского края.

Материалы и методы исследования

Алтайский край — субъект РФ, входящий в Сибирский федеральный округ и граничащий с Республикой Алтай, Кемеровской и Новосибирской областями, а также с Республикой Казахстан. Располагаясь на Юго-Востоке Западной Сибири, регион занимает переходное положение от Западно-Сибирской равнины к Алтае-Саянской горной стране, ввиду чего обладает большим ландшафтным, биологическим и другими видами природного разнообразия.

Система ООПТ Алтайского края на 01.08.2023 г. [10] представлена в таблице 1. В неё входят 4 охраняемые территории местного, 122 — регионального и 2 — федерального значения.

В схеме развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 г. [11] фигурирует одна планируемая ООПТ федерального значения — Национальный парк «Горная Колывань».

В ходе данного исследования проанализировано текущее состояние заповедника «Тигирекский» и Национального парка «Салаир», рассмотрены перспективы создания Национального парка «Горная Колывань» (рис. 1), а также выделены природные комплексы равнинной части края, которые нуждаются в строгой охране, желательно, на федеральном уровне (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Система ООПТ Алтайского края по состоянию на 01.08.2023 г. [10]

Категория ООПТ	Статус	Количество	Общая площадь, тыс. га	Доля от площади края, %
Государственный природный заповедник «Тигирекский»	Федеральный	1	82,8	0,49
Национальный парк «Салаир»	Федеральный	1	161,2	0,96
Государственные природные заказники	Краевой	36	681,7	4,06
Природные парки	Краевой	2	42,3	0,25
Памятники природы	Краевой	84	60,9	0,36
Памятники природы	Местный	4	0,4	0,002

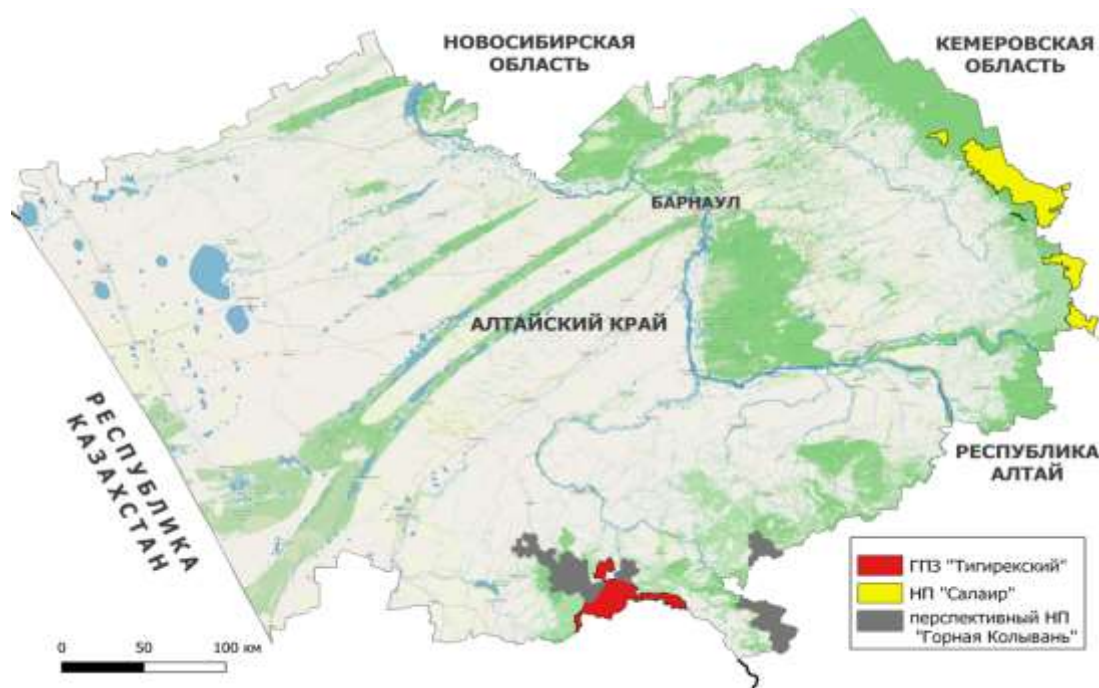


Рисунок 1. Существующие и планируемая федеральные ООПТ Алтайского края

Результаты и их обсуждение

Новейший этап развития заповедной сети России начался на рубеже 1980–90-х годов [12], однако в Алтайском крае первый Государственный природный заповедник был организован лишь в 1999 году. Целью его создания послужила необходимость сохранения ландшафтного и биологического разнообразия горно-таежных природных комплексов Северо-Западного Алтая. Изначально территория состояла из трех обособленных участков общей площадью 40693 га — Ханхаринского, Белорецкого, Тигирекского, располагающихся в юго-западной части края, в пределах Змеиногорского, Третьяковского, Краснощековского районов. Постановлением Администрации Алтайского края за № 117 от 12 марта 2003 г. [13] создана охранная зона площадью 26257 га, которой были соединены участки заповедника. Природные условия, биота, ландшафты и другие охарактеризованы в многочисленных работах [14–18].

Основной проблемой заповедника долгое время была разобщенность и малая площадь территории. Эти обстоятельства не позволяли данной ООПТ эффективно сохранять наиболее редкие для края природные комплексы Северо-Западного Алтая [19]. Изначально создание заповедника планировалось с включением территорий истоков рек Иня, Сентелек, Коргон и Кумир, располагающихся в Чарышском районе, прилегающих к государственной границе с Казахстаном и административной границе с Республикой Алтай. Но на начальном этапе так и не удалось согласовать включение этих ценнейших с природоохранной точки зрения участков в границы заповедника. Долгое время вопрос расширения границ обсуждался [19, 20], и только в 2022 г. заповедник был расширен вдвое — до 80802,2 га [21], в него вошли части территории Чарышского и Курьинского районов, позволившие объединить три исходных участка. Если до расширения основной массив территории заповедника занимал западную часть Тигирекского хребта, то в настоящее время российская часть Тигирекского хребта полностью занята данной ООПТ. В расширенные границы вошли истоки р. Иня и ее левобережье до пос. Тигирек, которые ранее частично были заняты Государственным заказником краевого значения «Чарышский», а также низкогорья юго-восточной части Курьинского района бывшие частью охранной зоны. Однако верховья рек Сентелек, Коргон и Кумир включить в границы так и не удалось. Схема расширения границ заповедника и существующих региональных ООПТ, прилегающих к нему, представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Границы заповедника «Тигирекский»

Тигирекский заповедник — это первая и долгое время единственная федеральная ООПТ на территории Алтайского края. Лишь в 2020 г. на площади 161220,8 га был создан Национальный парк «Салаир». Его территория располагается на границе с Кемеровской областью в Заринском, Тогульском, Ельцовском, Солтонском районах. В границы парка полностью вошли краевые заказники «Ельцовский», «Сары-Чумышский» и частично «Тогульский». Целями создания парка служит сохранение уникальных и типичных ландшафтов западного макросклона Салаирского кряжа, большая часть территории которого занята черневой тайгой. Характеристика природных условий Национального парка «Салаир» приведена в работе [22].

Особенностью Национального парка является его кластерность, которая осложняет задачи охраны и, в целом, управления территорией. ООПТ фрагментирована на шесть изолированных участков (рис. 1). Данный факт обусловлен тем, что на планировавшейся изначально целостной территории были представлены интересы различных природопользователей, включая лесозаготовительные предприятия, пользователей недр, охотпользователей и других. К моменту организации ООПТ федерального значения некоторые рассматриваемые участки были переданы в долгосрочную аренду и пользование, а характер их эксплуатации был несовместим с законодательными требованиями к национальному парку. На этапе согласования границ данные участки были исключены из охраняемой территории, и единая площадь оказалась фрагментирована. Площадь отдельных кластеров парка сильно варьирует. Если самый большой участок «Тогул» занимает 113053,4 га (70,1 % от общей площади), то самый маленький участок «Чумыш» — только 463,3 га (0,3 %). Конечно, минимизация издержек кластерной модели и малой площади отдельных участков национального парка видится в создании в дальнейшем охранной (буферной) зоны вокруг его внешних границ. Это позволит уменьшить негативное антропогенное воздействие извне и купировать «краевые» эффекты для охраняемых природных комплексов [23].

В соответствии с действующим законодательством, важной особенностью национальных парков является совмещение задач строгой охраны природы и развития туризма, которые реализуются с помощью функционального зонирования. В нынешних границах территория парка «Салаир» имеет ряд ограничений для развития туризма. Во-первых, она не обладает ярко выраженной однозначной привлекательностью для туристов. Во-вторых, стоит отметить относительную неразвитость дорожной сети, практически полное отсутствие туристической инфраструктуры [24]. Но наиболее актуальной проблемой Национального парка «Салаир» является отсутствие утвержденного режима особой охраны и функционального зонирования, что не позволяет парку в полной мере выполнять свои задачи. Причины данного факта кроются в реестровой ошибке: при уточнении границ национального парка они были наложены на село Сары-Чумыш Кемеровской области, что не дает утвердить базовые документы для национального парка.

Общая площадь федеральных ООПТ в крае на настоящий момент составляет 1,45 %, а вместе с охранной зоной заповедника — 1,59 % от площади края. Однако охранный зона заповедника имеет региональный статус. До создания национального парка в 2020 г. и расширения заповедника в 2022 г. площадь федеральных ООПТ составляла всего 0,25 % от площади края [19].

Для сравнения в таблице 2 приведены доли федеральных ООПТ к общей площади регионов Сибирского федерального округа за 2022 год [9]. Как следует из таблицы, среди регионов Сибири Алтайский край занимает одно из последних мест по доле федеральных ООПТ в общей площади региона.

Как ранее отмечалось, в схеме развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 г. есть одна планируемая ООПТ федерального значения — Национальный парк «Горная Колывань». Вопрос создания данной ООПТ ставился с конца 1970-х гг. [25]. В настоящее время обоснованы границы территории парка площадью 160409,7 га. Парк предполагается организовать на территории четырех обособленных кластеров (рис. 3) в Змеиногорском, Краснощековском, Чарышском, Солонешенском районах Алтайского края. В случае создания Национального парка «Горная Колывань» и придания охранной зоне заповедника федерального статуса доля федеральных ООПТ от площади края возрастет до 2,5 % (табл. 2).

Доля федеральных ООПТ к площади регионов Сибирского федерального округа в 2022 г.

Сибирский федеральный округ	Площадь региона, тыс. га	Площадь федеральных ООПТ, тыс. га	Доля ООПТ, %
Республика Алтай	9290,3	1141,5	12,3
Республика Тыва	16860,4	657,1	3,9
Республика Хакасия	6156,9	521,7	8,5
Алтайский край	16799,6	244,1	1,5
Красноярский край	236679,7	11588,1	4,9
Иркутская область	77484,6	1994,8	2,6
Кемеровская область – Кузбасс	9572,5	827,3	8,6
Новосибирская область	17775,6	372,9	2,1
Омская область	14140,0	0,004	<0,1
Томская область	31439,1	362,5	1,2

Горная Колывань — историческое название территории на юге Алтайского края, в широком понимании соответствующей Северо-Западной Алтайской физико-географической провинции Алтае-Саянской горной страны. Поселок Колывань, основанный в начале XVIII века, был административным центром горнорудного производства на Алтае, в настоящее же время данная территория скорее связана с туризмом и рекреационной сферой. В границах проектируемого Национального парка «Горная Колывань» и в непосредственной близости сосредоточены известные туристические объекты Алтайского края — гора Синюха, озера Колыванское и Белое, река Кумир, Колыванский борок, многочисленные пещеры долины Ини, которые подвержены негативному воздействию стихийной рекреации и нуждаются в регулировании туризма для предотвращения их деградации.

Территория планируемого парка обладает наибольшим в регионе биологическим и ландшафтным разнообразием: от предгорных степей на западе до альпийских высокогорий на востоке. Здесь также расположены последние в крае малонарушенные лесные территории. Создание парка позволит обеспечить сохранение ценных природных комплексов Колыванского, Башчелакского, Коргонского хребтов.

На региональном уровне отдельным участкам территории придан статус ООПТ различных категорий. В границы проектируемого парка полностью или частично входят 12 таких ООПТ, включая охранную зону Тигирекского заповедника. Кроме того, в парк предлагается включить части двух планируемых ООПТ регионального значения, создание которых предусмотрено действующей схемой развития и размещения ООПТ Алтайского края на период до 2025 года — нового заказника «Верховья реки Локтевки» и участков расширения территории существующего заказника «Башчелакский» (рис. 3). Создание федеральной охраняемой территории – это способ объединения разрозненных участков в единое целое на организационном уровне.

Риск потери природоохранной, научной, историко-культурной и рекреационной ценности рассматриваемой территории в случае, если она не получит статус ООПТ федерального значения, очень велик ввиду быстрого развития в регионе разрушительной горнодобывающей деятельности и эксплуатации природных ресурсов на основе долгосрочных арендных отношений в сфере лесного и охотничьего хозяйства, которые в современных условиях приводят к быстрому истощению, а часто и к полному уничтожению первичных уникальных природных сообществ и зональных экосистем.

Отдельно стоит выделить в какой-то мере общую для всех перечисленных ООПТ проблему и особенно актуальную для проектируемого парка. Выражается она в том, что, зачастую местное население, власти и пользователи не имеют понимания важности особо охраняемых природных территорий и выступают против их создания. Интересы различных природопользователей, включая лесозаготовительные предприятия, пользователей недр, охотпользователей и других, на этапе согласования ставятся во главу угла, вопреки научно обоснованной ценности территории.

Существующие и планируемая федеральные ООПТ располагаются в горной части Алтайского края, на его периферии (рис. 1), при этом природные комплексы равнинной части края охраняются лишь заказниками и памятниками природы регионального значения. Однако и в равнинной части края есть ценные природные комплексы, которые также нуждаются в строгом режиме охраны — это

ленточные боры и Кулундинское озеро с прилегающими к нему лугово-болотными солонцово-солончаковыми комплексами.

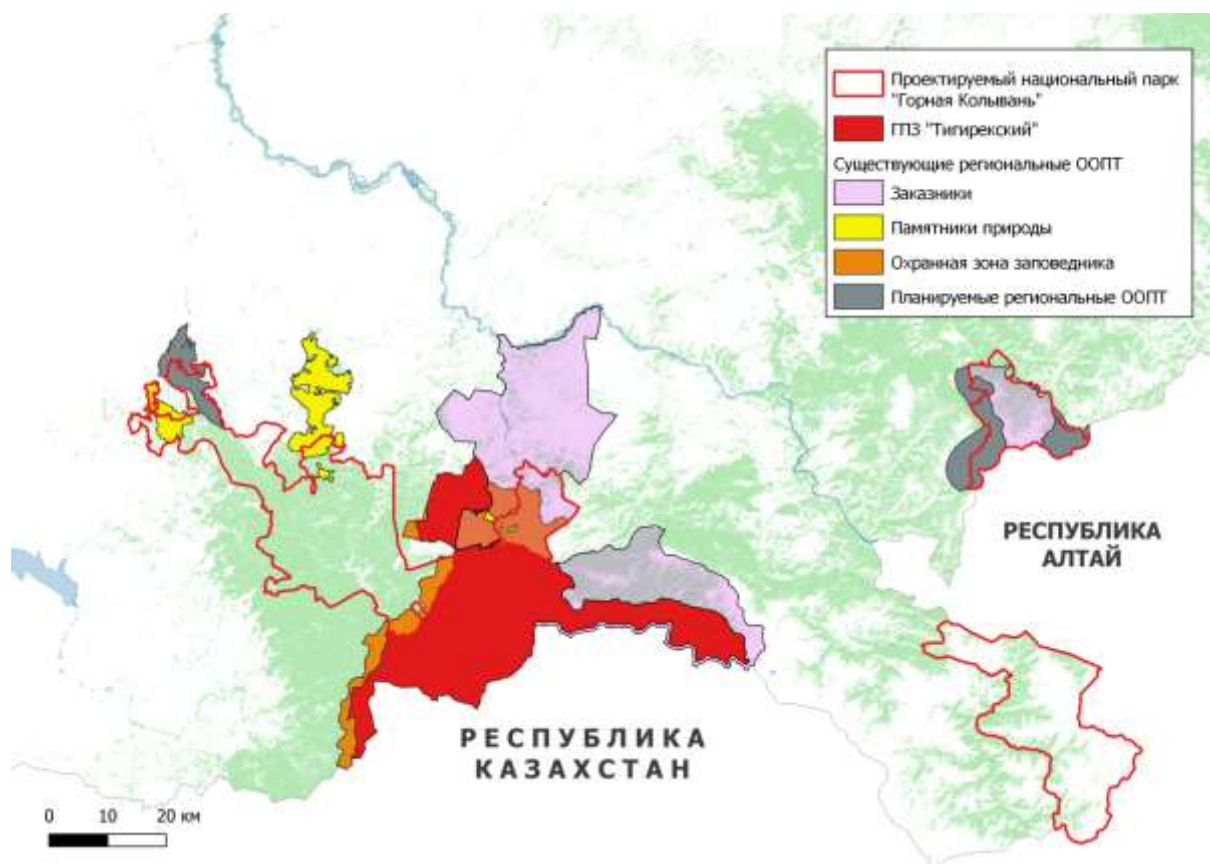


Рисунок 3. Проектируемый Национальный парк «Горная Колывань»

Ленточные боры — сосновые леса, произрастающие на песках в долинах древнего стока. В Алтайском крае они пересекают Приобское плато и частично заходят в Кулундинскую низменность. Эти уникальные леса, не имеющие аналогов в мире, отнесены ст. 115 Лесного кодекса РФ [26] к отдельной категории ценных лесов. По действующему лесному законодательству в таких лесах запрещено проведение сплошных рубок. Тем не менее ленточные боры практически целиком, включая расположенные в них особо охраняемые природные территории регионального значения, переданы в аренду в целях заготовки древесины и служат сырьевой базой для лесопромышленных компаний. В них ведутся выборочные рубки, которые направлены не на поддержание средоохранительных функций этих лесов, а на коммерческую заготовку товарной древесины.

Непосредственно в ленточных борах расположено 15 ООПТ регионального значения: 10 государственных природных комплексных заказников и 5 памятников природы. И если в памятниках природы установлен адекватный режим охраны, то в заказниках он не в полной мере отвечает главной цели их создания — сохранению естественных лесных экосистем, биологического разнообразия, мест обитания редких и исчезающих видов растений и животных [19]. Тем не менее за последнее десятилетие ситуация с режимом особой охраны заказников в ленточных борах значительно улучшилась. Если ранее на всей территории заказников допускались выборочные рубки лесных насаждений в целях заготовки древесины, то на сегодняшний день в данных ООПТ выделены зоны особой охраны, в которых установлен запрет на все виды рубок лесных насаждений за исключением санитарных рубок — вырубки погибших и повреждённых деревьев. Зоны особой охраны заказников и памятники природы, в которых запрещена лесозаготовительная деятельность, призваны выполнять роль ядер экологического каркаса для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия. Таким образом, на данный момент покрытая лесом площадь особо охраняемых природных территорий со строгим режимом охраны — запретом лесозаготовительной деятельности (памятники природы и зоны

особой охраны заказников) в ленточных борах составляет 6,9 % от общей покрытой лесом площади ленточных боров (54357 га из 784400 га).

Кулундинское озеро — крупнейшее озеро Алтайского края, второе по величине в Западной Сибири (площадью около 70 тыс. га), имеет глобальное значение для сохранения биологического разнообразия. Озеро внесено в Перспективный («теневой») список Рамсарских водно-болотных угодий международного значения [27]. Вокруг озера сохранились значительные по площади уникальные участки целинных и восстановившихся степей. Данная территория представляет собой уникальную экосистему с большим разнообразием местообитаний: илистые острова, мелководья, солончаки, пресные и солёные водоёмы, тростниковые заросли, различные типы степей, луга, берёзовые колки. Многообразие биотопов обуславливает повышенное видовое разнообразие птиц. Здесь отмечено свыше 200 видов птиц, в том числе 22 вида из Красной книги России и 34 вида, занесённых в Красную книгу Алтайского края [19, 27, 28]. Кроме того, Кулундинское озеро обладает большим рекреационным потенциалом, особенно в плане использования бальнеологических ресурсов (грязи, рапа), но рекреационно-туристическая деятельность здесь никак не организована [29].

Частично берега озера и прилегающие к нему степные участки охраняют два заказника — «Благовещенский» и «Суетский», которые, однако, реально недостаточно эффективно выполняют природоохранные функции. Например, охраным режимом заказника «Благовещенский» никак не регламентирован такой важнейший для степных территорий вид деятельности, как распашка земель; не определена допустимая пастбищная нагрузка. Также стоит отметить бесконтрольную добычу цист артемии, объёмы которой хоть и квотируются ежегодно, но реального контроля никто не осуществляет. Перемещение заготовителей цист артемии и их транспортных средств по всей береговой линии озера (в том числе в местах гнездования птиц, включённых в Красные книги, и местах осенних скоплений водоплавающих птиц) оказывает пагубное воздействие на популяции птиц, способствует усилению браконьерства [29]. Эти и другие факторы негативно влияют на сохранность экосистем озера и окрестностей, поэтому вопрос организации единой ООПТ здесь актуален уже много лет [27, 28].

Ранее на этой территории планировался заповедник «Кулундинский» («Благовещенский»), однако сейчас на базе заказников регионального значения «Суетский» и «Благовещенский» планируется создание природного парка «Кулундинский» [11]. Учитывая всю ценность озера и его окрестностей, данная территория заслуживает статуса федеральной ООПТ, а для совмещения строгого режима охраны и регулирования рекреационной деятельности оптимально подходит такая категория, как национальный парк.

Заключение

В Алтайском крае федеральные ООПТ представлены Государственным природным заповедником «Тигирекский», площадь которого в 2022 г. была увеличена до 80802,2 га; Национальным парком «Салаир», созданным в 2020 г., площадью 161220,8 га. Данные ООПТ позволяют реализовывать задачи охраны типичных и уникальных экосистем Северо-Западного Алтая и западного макросклона Салаирского края.

Создание проектируемого Национального парка «Горная Колывань» позволит сохранить природоохранную, научную, историко-культурную и рекреационную ценности данной территории, а также реализовать оптимальный принцип территориальной охраны природы — когда вместо многих разрозненных охраняемых территорий создается одна цельная.

Общая площадь федеральных ООПТ за последнее время в крае выросла с 0,25 до 1,5 %, что является одним из самых низких показателей по регионам Сибирского Федерального округа. В случае организации Национального парка «Горная Колывань» и придания охранной зоне заповедника федерального статуса доля федеральных охраняемых территорий возрастет до 2,5 % от площади края.

Федеральные ООПТ охватывают лишь горную часть края, природные комплексы равнинной части края охраняются лишь режимами заказников и памятников природы регионального значения. В ленточных борах доля особо охраняемых природных территорий со строгим режимом охраны — запретом лесозаготовительной деятельности (памятники природы и зоны особой охраны заказников) составляет 6,9 % от общей покрытой лесом площади боров, что является предельным минимумом для сохранения их ландшафтного и биологического разнообразия. Кулундинское озеро вместе с прилегающими территориями в настоящее время по факту почти не охраняется и нуждается в статусе федеральной ООПТ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

Список литературы

- 1 Флинт В.Е. Стратегия сохранения редких видов в России: теория и практика / В.Е. Флинт. — М.: Моск. зоопарк, 2004. — 371 с.
- 2 Rodrigues A.S.L. Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network / A.S.L. Rodrigues, H.R. Akcakaya, S.J. Andelman, M.I. Bakarr, L. Boitani, T.M. Brooks, J.S. Chanson, L.D.C. Fishpool, G.A.B. DaFonseca, K.J. Gaston, M. Hoffmann, P.A. Marquet, J.D. Pilgrim, R.L. Pressey, J. Schipper, W. Sechrest, S.N. Stuart, L.G. Underhill, R.W. Waller, M.E.J. Watts, X. Yan // *Bioscience*. — 2004. — Vol. 54. — P. 1092–1100.
- 3 Geldmann J. Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines / J. Geldmann, M. Barnes, L. Coad, I. Craigie, M. Hockings, N. Burgess // *Biological Conservation*. — 2013. — Vol. 161. — P. 230–238.
- 4 Gray C. Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide / C. Gray, S. Hill, T. Newbold, N. Lawrence, L.N. Hudson, L. Börger, S. Contu, A.J. Hoskins, S. Ferrier, A. Purvis, J.P.W. Scharlemann // *Nature Communications*. — 2016. — Vol. 7. — P. 1–7.
- 5 Watson J.E.M. The performance and potential of protected areas / J.E.M. Watson, N. Dudley, D.B. Segan, M. Hockings // *Nature*. — 2014. — Vol. 515. — P. 67–73.
- 6 Соколов А.С. Количественная оценка ландшафтной репрезентативности охраняемых природных территорий регионов / А.С. Соколов // *Псков. регион. журн.* — 2021. — Т. 17, № 4. — С. 123–137.
- 7 Ивонин В.М. Национальные парки / В.М. Ивонин, Н.Д. Пеньковский. — Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. — 184 с.
- 8 Санников П.Ю. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края / П.Ю. Санников, С.А. Бузмаков. — Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. — 173 с.
- 9 Сведения об особо охраняемых природных территориях за 2022 год. Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-ООПТ_2022.xlsx.
- 10 Перечень действующих ООПТ регионального и местного значения на территории Алтайского края по состоянию на 01.08.2023 г. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://minprirody.alregn.ru/files/incoming/files/oopt/08/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%9E%D0%9E%D0%9F%D0%A2%20%D0%BD%D0%B0%2001_08_2023.xlsx
- 11 Постановление Администрации Алтайского края от 12.08.2013 г. № 418 (ред. от 03.07.2023 г.) «Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 года». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/460155163>
- 12 Чибилев А.А. Заповедное дело России: от прошлого к будущему / А.А. Чибилев // *Антропогенная трансформация природной среды*. — 2020. — № 6. — С. 6–16.
- 13 Постановление Администрации Алтайского края от 12 марта 2003 г. № 117. «Об утверждении Положения об охранной зоне Государственного природного заповедника «Тигирекский». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://base.garant.ru/7307967>
- 14 Давыдов Е.А. Библиографический список работ, относящихся к познанию природы заповедника и его охранной зоны / Е.А. Давыдов, Н.Л. Ирисова, Е.Н. Бочкарева // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2011. — № 4. — С. 227–234.
- 15 Давыдов Е.А. Краткая характеристика природных условий Тигирекского заповедника / Е.А. Давыдов, Е.Н. Бочкарева, Д.В. Черных // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2011. — № 4. — С. 7–19.
- 16 Черных Д.В. Ландшафтная структура Ханхаринского, Тигирекского участков и охранной зоны Государственного природного заповедника «Тигирекский» / Д.В. Черных, Д.В. Золотов // *Изв. Алтай. отд. Рус. геогр. общ-ва*. — 2015. — Вып. 37, № 2. — С. 16–28.
- 17 Черных Д.В. Ландшафтная структура северной части Белорецкого участка Тигирекского заповедника / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Д.К. Першин // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2018. — Вып. 10. — С. 29–39.
- 18 Черных Д.В. Ландшафтная структура южной части Белорецкого участка Тигирекского заповедника / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Д.К. Першин // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2019. — Вып. 11. — С. 8–15.
- 19 Грибков А.В. Пути совершенствования системы особо охраняемых природных территорий Алтайского края / А.В. Грибков, Д.В. Кузменкин, Л.В. Нехорошева, А.В. Щур // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2015. — № 7. — С. 96–110.
- 20 Гармс О.Я. К вопросу о необходимости включения территории кластерного участка «Кумир» в состав ГПЗ «Тигирекский» / О.Я. Гармс, Е.О. Гармс // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2010. — № 3. — С. 7–10.
- 21 Постановление Правительства Российской Федерации от 25.01.2022 г. № 38 «О расширении государственного природного заповедника "Тигирекский"». — М., 2022.
- 22 Быков Н.И. Природные условия национального парка «Салаир» / Н.И. Быков, С.В. Важов, О.Я. Гармс, А.В. Грибков, Е.А. Давыдов, Н.В. Елесова, М.В. Зяблинцева, П.А. Косачев, Д.В. Кузменкин, О.М. Маслова, Л.В. Пожидаева, В.Ю. Петров, А.А. Сабаяев, Л.Я. Смирнова, Д.В. Черных, А.В. Щур // *Тр. Тигирек. заповед.* — 2021. — № 13. — С. 7–45.
- 23 Зяблинцева М.В. К вопросу о функциональном зонировании Национального парка «Салаир» / М.В. Зяблинцева // *Российский журнал прикладной экологии*. — 2023. — № 2(34). — С. 18–26.
- 24 Зяблинцева М.В. Перспективы развития устойчивого экологического туризма в Национальном парке «Салаир» и на прилегающей территории в сотрудничестве с местным населением / М.В. Зяблинцева, Д.В. Черных // *Экологический туризм: современные векторы развития*. — Екатеринбург, 2022. — С. 411–416.

- 25 Гармс О.Я. О необходимости Национального парка «Горная Колывань» в Алтайском крае / О.Я. Гармс, Е.О. Гармс // Актуальные вопросы изучения птиц Сибири. — Барнаул, 2010. — С. 35–40.
- 26 Лесной Кодекс РФ от 04.12.2006 г. № 200–ФЗ (ред. от 30.04.2021). — М., 2021.
- 27 Баздырев А.В. Отчет по проекту «Кулундинское озеро — жемчужина Сибири» / А.В. Баздырев, Е.Б. Мурзаханов, А.В. Грибков, Н.В. Елесова, О.Я. Гармс. — Томск, 2009. — 20 с.
- 28 Андреева И.В. Кулундинский заповедник: актуальность в силе / И.В. Андреева // Тр. Тигирек. заповед. — 2010. — Вып. 3. — С. 51–53.
- 29 Нехорошева Л.В. Ещё раз о необходимости создания природного парка «Кулундинский» (Алтайский край) / Л.В. Нехорошева, А.В. Грибков, Д.В. Кузменкин, Е.Б. Андреева // Степи Северной Евразии. Материалы VII Междунар. симпози. — Оренбург: ПД «Димур», 2015. — С. 583–587.

М.В. Зяблинцева, Д.В. Черных, А.В. Грибков

Алтай өлкесінің федералды ЕҚТА: қазіргі жағдайы және даму келешегі

Қазіргі заманның маңызды жаһандық мәселелерінің бірі — табиғи ортаны сақтау. Аймақтың табиғи-аумақтық кешендерін тиімді сақтаудың кепілі ландшафтық және биологиялық әртүрлілікке қатысты көрнектілігі бар ЕҚТА ерекше қорғалатын табиғи аумақтар желісін құру. Сондай-ақ, қорықтар мен ұлттық саябақтарға тән қатаң қорғау тәртібі табиғатты қорғау міндеттерін сәтті жүзеге асыруға ықпал ететіні белгілі. Мақалада Алтай аймағындағы федералдық маңызы бар ерекше қорғалатын табиғи аумақтардың — «Тигирек» мемлекеттік табиғи қорығы мен «Салаир» ұлттық паркінің қазіргі жағдайы, сондай-ақ жобаланған «Горная Колывань» ұлттық паркінің құру перспективалары қарастырылған. Аймақтың қолданыстағы және жобаланған федералды ЕҚТА тек оның таулы бөлігінде орналасқандығы, сонымен қатар табиғатты қорғаудың үлкен құндылығына ие болған аймақтың жазық бөлігінің табиғи кешендері тек аймақтық маңызы бар қорықтар мен табиғат ескерткіштерінің тәртібімен қорғалатындығы көрсетілген. Соңғы уақытта федералды ЕҚТА аумағының аймақтағы аумағы 0,25%-дан 1,5%-ға дейін ұлғайтылды, бұл Сібір федералды округінің аймақтары бойынша ең төменгі көрсеткіштердің бірі. «Горная Колывань» ұлттық паркінің құру солтүстік–батыс Алтайдың табиғи әртүрлілігін және тарихи-мәдени мұрасын сақтауда үлкен рөл атқарады, шашыраңқы аймақтық ЕҚТА-ны ұйымдық деңгейде бірыңғай тұтастыққа біріктіруге мүмкіндік береді. Егер осы ЕҚТА құрылса және қорықтың қорғалатын аймағына федералды мәртебесі берілсе, федералды қорғалатын табиғи аумақтардың үлесі аймақ аумағының 2,5%-на дейін артады.

Кілт сөздер: табиғатты қорғау, ЕҚТА, Алтай өлкесі, «Тигирек» қорығы, «Салаир» ұлттық паркі, «Горная Колывань» ұлттық паркі, Алтай.

M.V. Zyablintseva, D.V. Chernykh, A.V. Gribkov

Federal specially protected natural areas of the Altai Territory: current state and development prospects

One of the most important global problems of our time is the preservation of the natural environment; the optimal solution to this problem is the creation of specially protected natural areas. A guarantee of effective conservation of the region's natural-territorial complexes is the creation of a network of protected areas that is representative of landscape and biological diversity. It is also known that a more stringent protection regime, which is typical for nature reserves and national parks, contributes to the successful implementation of environmental protection objectives. This article examines the current state of specially protected natural areas of federal significance in the Altai Territory — the “Tigireksky” State Nature Reserve and the “Salair” National Park, as well as the prospects for the creation of the projected “Gornaya Kolyvan” National Park. It is shown that the existing and projected federal protected areas in the region are located only in its mountainous part, and the natural complexes of the flat part of the region, which also have great environmental value, are protected only by the regimes of nature reserves and natural monuments of regional significance. The area of federal protected areas in the region has recently increased from 0.25% to 1.5% of the region's area, which is still one of the lowest indicators for the regions of the Siberian Federal District. The creation of the “Gornaya Kolyvan” National Park plays a big role in preserving the diversity of Northwestern Altai and makes it possible to unite disparate regional protected areas into a single whole at the organizational level. If this protected area is created and the protected zone of the reserve is given federal status, the share of federal protected areas will increase to 2.5% of the area of the region.

Keywords: nature protection, specially protected natural areas, Altai Territory, “Tigireksky” Nature Reserve, “Salair” National Park, “Gornaya Kolyvan” National Park, Altai.

References

- 1 Flint, V.E. (2004). *Strategiia sokhraneniia redkikh vidov v Rossii: teoriia i praktika [Strategy of conservation of rare species in Russia: theory and practice]*. Moscow: Moskovskii zoopark [in Russian].
- 2 Rodrigues, A.S.L., Akcakaya, H.R., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Chanson, J.S., Fishpool, L.D.C., Da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., & Yan, X. (2004). Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience*, 54; 1092–1100.
- 3 Geldmann, J., Barnes, M., Coad, L., Craigie, I., Hockings, M., & Burgess, N. (2013). Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. *Biological Conservation*, 161; 230–238.
- 4 Gray, C., Hill, S., Newbold, T., Lawrence, N., Hudson, L.N., Börger, L., Contu, S., Hoskins, A.J., Ferrier, S., Purvis, A., & Scharlemann, J.P.W. (2016). Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, 7; 1–7. <https://doi.org/10.1038/ncomms12306>
- 5 Watson, J.E.M., Dudley, N., Segan, D.B., & Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515; 67–73.
- 6 Sokolov, A.S. (2021). Kolichestvennaia otsenka landshaftnoi reprezentativnosti okhraniaemykh prirodnykh territorii regionov [Quantitative assessment of landscape representativeness of protected natural territories of regions]. *Pskovskii regionologicheskii zhurnal — Pskov Regionological Journal*, 17(4), 123–137 [in Russian].
- 7 Ivonin, V.M., & Penkovsky, N.D. (2006). *Natsionalnye parki [National Parks]*. Rostov-na-Donu: Izdatelstvo SKNC VSH [in Russian].
- 8 Sannikov, P.Yu., & Buzmakov, S.A. (2015). *Perspektivy razvitiia seti osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Permskogo kraia [Prospects for the development of a network of specially protected natural territories of the Perm Region]*. Perm: Permskii gosudarstvennyi natsionalnyi issledovatel'skii universitet [in Russian].
- 9 *Svedeniia ob osobo okhraniaemykh prirodnykh territoriiakh za 2022 god. Federalnaia sluzhba gosudarstvennoi statistiki Rossiiskoi Federatsii [Information on specially protected natural territories for 2022. Federal State Statistics Service of the Russian Federation]*. Retrieved from https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-OOPT_2022.xlsx [in Russian].
- 10 Perechen deistvuiushchikh OOPT regionalnogo i mestnogo znacheniia na territorii Altaiskogo kraia po sostoiianiiu na 01.08.2023 god [List of operating specially protected natural areas of regional and local significance on the territory of the Altai Territory as of 01.08.2023]. Retrieved from https://minprirody.alregn.ru/files/incoming/files/oopt/08/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%9E%D0%9E%D0%9F%D0%A2%20%D0%BD%D0%B0%2001_08_2023.xlsx [in Russian].
- 11 Postanovlenie Administratsii Altaiskogo kraia ot 12.08.2013 goda № 418 (redaktsiia ot 03.07.2023 goda) «Ob utverzhdenii skhemy razvitiia i razmeshcheniia osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Altaiskogo kraia na period do 2025 goda» [Resolution of the Administration of the Altai Territory dated 12.08.2013 No. 418 (ed. dated 03.07.2023) “On approval of the scheme of development and placement of specially protected natural areas of the Altai Territory for the period up to 2025]. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/460155163> [in Russian].
- 12 Chibilev, A. (2020). Zapovednoe delo Rossii: ot proshlogo k budushchemu [The Nature Reserve matter of Russia: from the past to the future]. *Antropogennaia transformatsiia prirodnoi sredy — Anthropogenic transformation of the natural environment*, 6, 6–16 [in Russian].
- 13 *Postanovlenie Administratsii Altajskogo kraia ot 12 marta 2003 goda № 117 «Ob utverzhdenii Polozheniia ob okhrannoii zone Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Tigirekskii"» [Resolution of the Administration of the Altai Territory of March 12, 2003 No. 117. “On approval of the regulations on the security zone of the State Nature Reserve “Tigireksky””]*. Retrieved from <https://base.garant.ru/7307967> [in Russian].
- 14 Davydov, E.A., Irisova, N.L., & Bochkareva, E.N. (2011). Bibliograficheskii spisok rabot, odnosiaschikhsia k poznaniuu prirody zapovednika i ego okhrannoii zony [Bibliographic list of works related to the knowledge of the nature of the reserve and its protected area]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Nature Reserve*, 4, 227–234 [in Russian].
- 15 Davydov, E.A., Bochkareva, E.N., & Chernykh, D.V. (2011). Kratkaia kharakteristika prirodnykh uslovii Tigirekskogo zapovednika [Brief description of the natural conditions of Tigireksky Reserve]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Nature Reserve*, 4, 7–19 [in Russian].
- 16 Chernykh, D.V., & Zolotov, D.V. (2015). Landshaftnaia struktura Khankharinskogo, Tigirekskogo uchastkov i okhrannoii zony Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Tigirekskii» [Landscape structure of the Khankharinsky, Tigireksky plots and the protection zone of the “Tigireksky” State Nature Reserve]. *Izvestiia Altaiskogo otdeleniia Russkogo geograficheskogo obshchestva — News of the Altai branch of the Russian Geographical Society*, 37 (2), 16–28 [in Russian].
- 17 Chernykh, D.V., Zolotov, D.V., Biryukov, R.Yu., & Pershin, D.K. (2018). Landshaftnaia struktura severnoi chasti Beloretskogo uchastka Tigirekskogo zapovednika [Landscape structure of the northern part of the Beloretsky section of the Tigireksky Reserve]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Reserve*, 10, 29–39 [in Russian].
- 18 Chernykh, D.V., Zolotov, D.V., Biryukov, R.Yu., & Pershin, D.K. (2019). Landshaftnaia struktura yuzhnoi chasti Beloretskogo uchastka Tigirekskogo zapovednika [Landscape structure of the southern part of the Beloretsky section of the Tigireksky Reserve]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Reserve*, 11, 8–15 [in Russian].
- 19 Gribov, A.V., Kuzmenkin, D.V., Nekhorosheva, L.V., & Shchur, A.V. (2015). Puti sovershenstvovaniia sistemy osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Altaiskogo kraia [Ways to improve the system of specially protected natural territories of the Altai Territory]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Nature Reserve*, 7, 96–110 [in Russian].
- 20 Garms, O.Ya. & Garms, E.O. (2010). K voprosu o neobkhodimosti vklucheniia territorii klaster'nogo uchastka «Kumir» v sostav GPZ «Tigirekskii» [On the issue of the need to include the territory of the cluster site “Kumir” in the composition of the “Tigireksky” Reserve]. *Trudy Tigirekskogo zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Nature Reserve*, 3, 7–10 [in Russian].
- 21 *Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 25.01.2022 goda № 38 «O rasshirenii Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Tigirekskii"» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 38 dated 25.01.2022 “On the expansion of the State Nature Reserve “Tigireksky””]* [in Russian].

22 Bykov, N.I., Vazhov, S.V., Garms, O.Ya., Gribkov, A.V., Davydov, E.A., Elesova, N.V., Zyablintseva, M.V., Kosachev, P.A., Kuzmenkin, D.V., Maslova, O.M., Pozhidaeva, L.V., Petrov, V.Yu., Sabaev, A.A., Smirnova, L.Ya., Chernykh, D.V., & Shchur, A.V. (2021). Prirodnye usloviia Natsionalnogo parka «Salair» [Natural conditions of the national Park “Salair”]. *Trudy Tigirekского zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Nature Reserve*, 13, 7–45 [in Russian].

23 Zyablintseva, M.V. (2023). K voprosu o funktsionalnom zonirovanii Natsionalnogo parka «Salair» [On the issue of functional zoning of the National Park “Salair”]. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii — Russian Journal of Applied Ecology*, 2(34), 18–26 [in Russian].

24 Zyablintseva, M.V. & Chernykh, D.V. (2022). Perspektivy razvitiia ustoichivogo ekologicheskogo turizma v Natsionalnom parke «Salair» i na privilegiiushchei territorii v sotrudnichestve s mestnym naseleniem [Prospects for the development of sustainable ecological tourism in the national Park “Salair” and the surrounding area in cooperation with the local population]. *Ekologicheskii turizm: sovremennye vektory razvitiia — Ecotourism: modern vectors of development*. Yekaterinburg, 411–416 [in Russian].

25 Garms, O.Ya. & Garms, E.O. (2010). O neobkhodimosti Natsionalnogo parka «Gornaia Kolyvan» v Altaiskom krae [About the necessity of the “Gornaia Kolyvan” National Park in the Altai Territory]. *Aktualnye voprosy izucheniia pits Sibiri — Topical issues of studying birds of Siberia*, 35–40 [in Russian].

26 Lesnoi kodeks RF ot 04.12.2006 goda № 200-FZ (redaktsiia ot 30.04.2021 goda) [The Forest Code of the Russian Federation of 04.12.2006 N 200-FZ (as amended on 30.04.2021)] [in Russian].

27 Bazdyrev, A.V., Murzakhanov, E.B., Gribkov, A.V., Yelesova, N.V., & Garms, O.Ya. (2009). Otchet po proektu «Kulundinskoe ozero — zhemchuzhina Sibiri» [Report on the project “Kulundinskoe Lake — the Pearl of Siberia”]. Tomsk [in Russian].

28 Andreeva, I.V. (2010). Kulundinskii zapovednik: aktualnost v sile [Kulundinsky Nature Reserve: relevance in force]. *Trudy Tigirekского zapovednika — Proceedings of the Tigireksky Reserve*, 3, 51–53 [in Russian].

29 Nekhorosheva, L.V., Gribkov, A.V., Kuzmenkin, D.V., & Andreeva, E.B. (2015). Eshchyo raz o neobkhodimosti sozdaniia prirodnogo parka «Kulundinskii» (Altaiskii krai) [The necessity of creation Kulundinsky natural park (Altai krai)]. *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VII Mezhdunarodnogo simpoziuma — Steppes of Northern Eurasia. Materials of the VII International Symposium*. Orenburg: PD «Dimur» [in Russian].

Information about authors

Zyablintseva, Margarita Vladimirovna — Post-graduate Student, Institute of Water and Environmental Problems SB RAN, Barnaul, Altai Krai, Russia; zyablintseva.rita@mail.ru;

Chernykh, Dmitry Vladimirovich — Doctor of geographical sciences, Docent, Main Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Professor of Altai State University, Barnaul, Altai Krai, Russia; chernykhd@mail.ru;

Gribkov, Alexey Vladimirovich — Employee, the Tigireksky State Nature Reserve, Barnaul, Altai Krai, Russia; gribkov2005@list.ru.

F.K. Kiryanov-Gref¹, A.V. Khoroshev^{1*}, K.A. Anatskaya²

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia;*

²*Institute of Geography and Nature Management, Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan*

*Corresponding author: avkh1970@yandex.ru

Factors of intra-field phytomass variability in steppe agricultural landscapes of Kazakhstan

The yield of grain crops and its predictability largely depends on the intra-field heterogeneity of landscape conditions. We used the example of steppe agricultural landscapes in the Akmola region to solve the following objectives: 1) to evaluate the informative value of NDVI for assessing yield depending on hydrothermal conditions; 2) to determine the effect of intra-field patchiness on NDVI values and yield; 3) to determine the dependence of intra-field variation of phytomass on the tract and facies structure and hydrothermal conditions. We used data on wheat and barley yields and intra-field NDVI variability in 80 field plots in 2009–2013, data on the tract and facies structure, and hydrothermal parameters. We studied the relationships between spatial and temporal variability of phytomass, landscape and hydrothermal factors by means of correlation and variance analysis. It was established that NDVI was only partially informative for direct assessment of grain yield. The index values for July dates better reflect the yield than in June and August. The hypothesis that NDVI patchiness in the field area depends on the cultivated crop was not confirmed. The yield in fields with complex facies structure is usually lower than in homogeneous fields. In dry years, the intra-field variation of phytomass is less pronounced than in wet years. The proximity to the hill is a significant factor that increases the spatial variability of phytomass due to the additional introduction of moisture and sediment along the rills. High facies patchiness either reduces yield or increases its temporal variability and reduces predictability.

Keywords: landscape, facies structure, patchiness, yield, NDVI, variability, hydrothermal conditions, neighborhood.

Introduction

The internal heterogeneity of field plots has a significant impact on crop predictability. This heterogeneity is expressed in different trophic and moisture characteristics of the soil, due to the mosaic micro-landforms or even the presence of several meso-landforms, that is, *facies* or *tract* (*Facies* in Russian-speaking countries is understood as an elementary landscape unit that has uniform micro-landform, soil, phytocenosis. *Tract* is a combination of facies with common genesis (e.g., erosion) within the meso-landform (e.g., gully, hill, flat interfluvium etc.) structure. These results in difficulties in assessing the relationship between crop yields and in-field mosaics. The interests of agricultural science and landscape science intersect in this issue. During the past two decades, landscape science has given priority attention to the relationship between spatial and temporal scales of dynamic changes in structure and functioning [1, 2]. Spatial variability of the vegetation cover of agricultural landscapes is usually explained by changes in the process of plant development and agricultural technologies [3]. Numerous studies found evidence that phytoproductivity depends on the hydrothermal parameters of the territory [4, 5]. For steppe types of agrolandscapes, the variation of humidification conditions is of key importance [6].

New opportunities for studying the spatial aspect of the phytoproduction process and its dynamics are provided by the increased availability of remote sensing and the calculation of vegetation indices with different variations in the combination of spectral channels of satellite images, which allow us to assess the quality and quantity of aboveground phytomass. The normalized difference vegetation index (NDVI) is most commonly used as an indicator of the amount of photosynthetically active biomass, its seasonal and long-term dynamics of vegetation productivity [7]. It was found that NDVI reflects well the parameters of vegetation productivity in general and agricultural crops in particular [8]. The efforts of most researchers using vegetation indices in the last decade have focused either on determining the informative value of indices in relation to the measured phytomass [9, 10], or on identifying trends in phytoproductivity due to climate changes [11, 12], but mostly without taking into account intra-landscape differences in the sensitivity of phytocenoses. Studies of the long-term dynamics of NDVI are usually based on the analysis of its averaged or integrated values over sufficiently long intervals using low-resolution data (below 5 km) [13, 14]. The spatial non-

stationarity of the relationship between NDVI and climate factors has been established [15, 16]. Studies of the influence of local edaphic and geomorphological factors on the spatial variability of the phytoproduction process are less numerous [7, 17]. It was proved that the causes of uneven crop yields in the agrolandscapes were variations in the content of macro- and microelements and pre-sowing soil moisture [18].

The aim of the study is to identify factors of spatial and temporal intra-field variability of phytomass on the example of agricultural landscapes in the steppe zone of northern Kazakhstan. NDVI data were used to assess the amount of phytomass and its dynamics. The following tasks were solved: 1) to evaluate the informative value of NDVI for assessing yield depending on hydrothermal conditions; 2) to determine the effect of intra-field patchiness on NDVI values and yield; 3) to determine the dependence of intra-field variation of phytomass on the tract and facies structure and hydrothermal conditions.

Experimental

The research area is located in Bulandy district of Akmola region in the vicinity of Kapitonovka village. The territory belongs to the landscape of the lacustrine and alluvial plain, composed of Neogene sandy-clay deposits overlain by middle and Upper Quaternary ancient proluvial loess-like loams with a thickness of 20–30 m, with southern carbonate heavy loamy chernozems, formerly under the steppe dominated by *Stipa zaleskii* and forbs [19]. The landscape structure is dominated by slightly inclined watershed surfaces. Subdominant tracts were shaped by erosion or suffosion, some of them are plowed. They have a significant impact on the sensitivity of yield to hydrothermal conditions [20]. From the east, the agricultural landscape borders a forested hill composed of sandstones and effusive igneous rocks of the Lower Ordovician age. The study area has a continental climate. The average annual temperature is about 2.4° C; July temperatures range from 17.5° C to 22.3° C. To a greater extent, the average annual precipitation varies from 275 mm in dry years to 550 mm in wet years. The main amount of precipitation falls in the summer months; the maximum often falls in July — from 40 mm to 137 mm per month [21].

Data on the yield of wheat and barley in 2009–2013 were provided by agricultural unit Zhuravlevka-1 for 80 fieldplots with a total area of about 48.5 thousand ha, with an average area of 402 ha. 11 scenes of satellite images were obtained from the US Geological Survey (USGS) Earth Explorer: Landsat 5 TM (09.06.2009, 28.06.2010, 30.07.2010, 15.06.2011, 17.07.2011), Landsat 7 ETM+ (30.07.2010, 11.07.2012, 12.08.2012, 20.06.2013, 30.07.2013) and Landsat 8 (15.08.2013). A digital terrain model SRTM with a resolution of 30 m was obtained from the same site. In the SAGA GIS 7.3.0 (Residual Analysis function), the slope gradients were smoothed by averaging over 7 pixels and calculating the average and median values for each field. We used data on average monthly temperatures and precipitation for 2009–2013 [21].

In STATISTICA 7.0 software, descriptive statistics of NDVI were calculated for each field, for each of the 11 dates: mean, standard deviation, minimum, maximum, quartiles (25% and 75%), median, percentiles (10% and 90%). Data on the proportions of subdominant erosion and suffosion-shaped tracts were used as explanatory variables [20]. To test the hypothesis about the relationship between wheat and barley yields and NDVI, nonparametric Spearman correlations (K_{sp}) were calculated, the choice of which is justified by the deviation of the raw data from the normal distribution. To estimate the intra-field variation of NDVI, we used the standard deviation and frequency of the modal interval (when dividing the range of values into intervals with a step of 0.1). For comparability of data for different years and seasons, the data were ranked by the values of the standard deviation as a percentage of the maximum value (the smaller the spatial variability of values, the higher the rank). By means of cluster analysis (k-means method), the fields were grouped into 3 classes based on the set of standard deviation values and NDVI modal interval frequencies. Fields were classified into facies mosaic classes based on visual analysis of the images from the Google Earth Pro portal. We used the criterion of the proportion of territories with facies patchiness: 0–10%, 10–50%, 50–90% and more than 90% of the area. The fields were also classified according to whether they belong to a watershed, near-valley, or near-hill terrain.

SAGA GIS 7.3.0 software was used to calculate the Moran index (Global Moran's I for Grids function) for each field and date, indicating the presence of spatial autocorrelation in NDVI values. The Moran index takes values of 1 at clustered distribution of values, 0 at a completely chaotic distribution, and -1 in case of the "chessboard-like" neighborhood of clusters with opposite values. The significance of statistical differences between classes of fields has been estimated by the Fisher and Newman-Keuls statistics. Box-Whisker plot was used to visualize the results.

Results

The four mosaic classes of fields identified from satellite images clearly differ in terms of terrain conditions: the most monotonous fields occur on watershed surfaces, and the most mosaic fields — in areas with rills. The greater the average slope gradient and the greater the proportion of hill slope hollows, and rills within the field area, the higher the facies patchiness. Mosaic classes reflect the grain yield to some extent: the most mosaic fields (Class 1) have a wheat yield of no more than 8 centers per ha, while other classes — up to 18 centers/ha. Consequently, in fields with a complex facies structure, the yield is usually lower than in more monotonous fields.

We tested the hypothesis of a direct relationship between grain yield and the average NDVI for the field plot. The hypothesis was confirmed ($K_{sp}=0.42$) only for two dates: 11.07.2010 and 30.07.2012. This corresponds to the dates closest to the period of maximum role of photosynthetic organs in the formation of grain mass [22]. For the rest of the time periods, the correlations were insignificant.

To test the hypotheses about the dependence of NDVI mosaics in the field area on the cultivated crop, we compared the values of the standard deviation and the frequency of the modal interval for two neighboring fields with the same landscape position and internal structure, but sown with different crops (wheat and barley). The hypothesis was not confirmed. The number of dates when the wheat field was more uniform than the barley field does not differ from the opposite case.

It is known that intra-field variability of phytomass is often determined by the presence of micro- and meso-landforms [7]. For the June dates of 2009, 2011, and 2013, we revealed a weak positive dependence (K_{sp} 0.24...0.29) of the NDVI standard deviation on the total share of concave landforms within the field area. In July and August, the intra-field NDVI variability increases as the share of hill slope hollows increases ($K_{sp}=0.29$). On the other hand, the Moran index (Fig. 1) in many cases deviates significantly from 0 and values of 0.7-0.8 prevail in each term, which indicates the clustered NDVI values. In June, the presence of a certain proportion of suffusion valleys in the field always corresponds to a high value of the Moran index: the correlation is significant and positive (K_{sp} 0.32...0.48). Even among fields with zero or minimal fraction of erosion and suffusion tracts, the Moran index can reach values of 0.7-0.9.

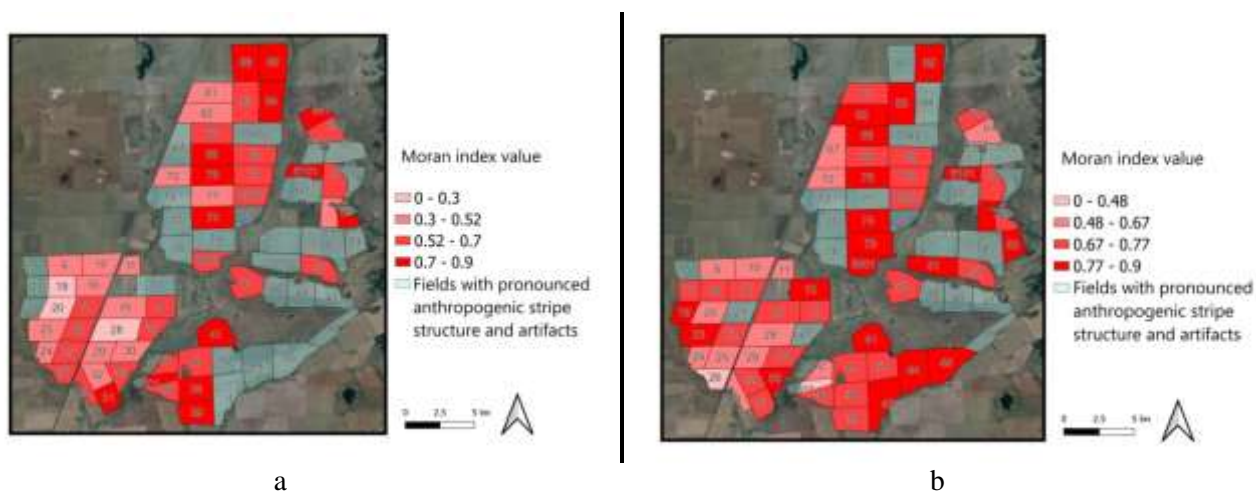


Figure 1. Moran index for field plots calculated from the NDVI values for 09.06.2009 (a) and 07.08.2010 (b)

Intra-field variation of NDVI as an indicator of the green phytomass differs by the terrains identified by the combination of tracts and positional factor. For the majority of terms, the intra-field variation of NDVI is stably higher in the near-hill terrain (Fig. 2) than in the near-valley and watershed areas. In the near-valley terrain, the intra-field variation is usually higher than in the watershed terrain, but the differences are not always significant.

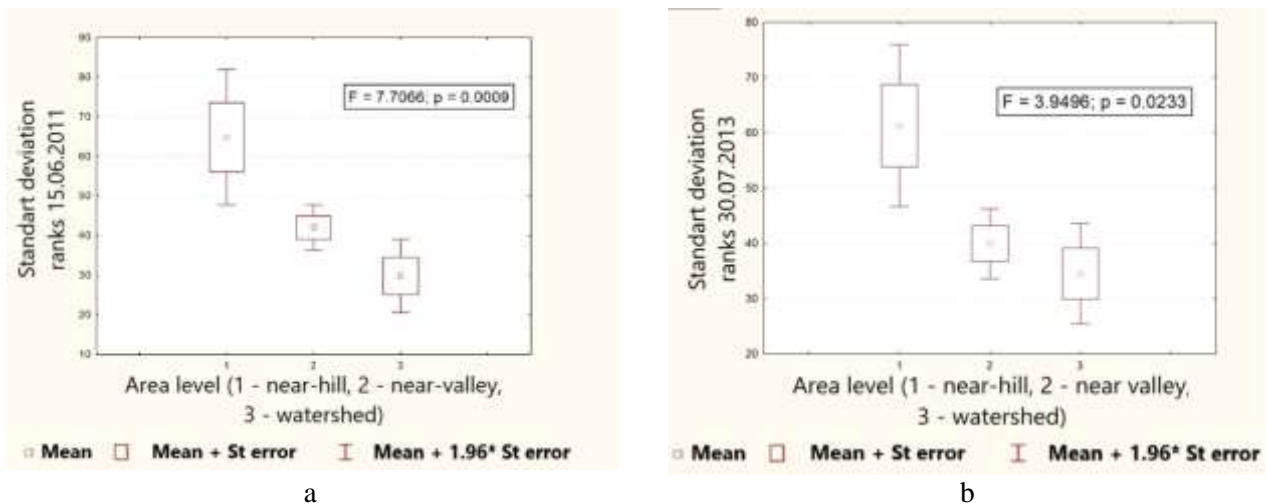


Figure 2. Variation of the values of the ranks of the NDVI standard deviation in field plots in the terrain classes (near-hill, near-valley, watershed) of 15.06.2011 (a) and 30.07.2013 (b). F – Fisher statistics, p – significance level

Based on the frequency of the NDVI modal interval, it was found that in hot and dry years (2010 and 2012), there were almost no differences between terrains, and in wet and cold year (2011, 2013), the differences were better manifested. This is due to the low yield in dry years in almost all fields: 95% of wheat fields yielded no more than 10 c/ha in 2010 and 14 c/ha in 2012. In wet years, within the near-hill terrain, the modal interval NDVI frequency is lower, that is, the green phytomass varies in a larger range of values than in the near-valley and watershed terrains.

Fields with consistently large range of NDVI values are located on steeper slopes, and also have a larger percentage of subdominant tracts of valleys, hill slope hollows, and rills. They occur mostly within near-hill terrain or valley slopes (Fig. 3).



Figure 3. Map of the classes of fields selected by the ranks of the standard deviation of NDVI values for 2009–2013 within the fields by the method of cluster analysis (k-means). Fields with a consistently high spatial variation of NDVI (class 3) are concentrated in the upland near-hill terrain in the eastern sector of the territory

Now we turn to the analysis of the relationship between the parameters of intra-field variation of green phytomass (indicated by NDVI) and the indicator of stability of grain yield. The fields were divided into 4 classes: 1 — fields with yield consistently above the average (stable «leaders»), 2 — fields with high variability from year to year, 3 — fields with a stable average yield, never reaching the maximum or minimum values, 4 — fields with yield consistently below average, in some years minimal, on the farm (stable “losers”) (Fig. 4). Most fields with stable low yields occur in near-valley terrain.

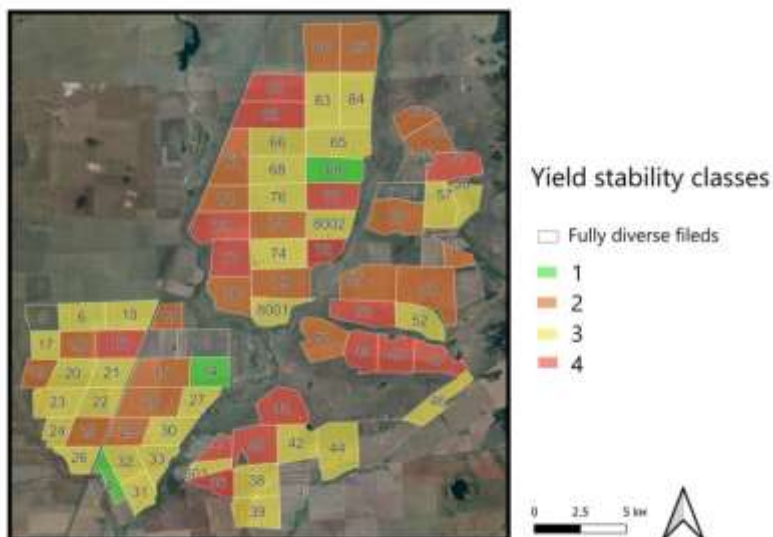


Figure 4. Field yield stability class s: 1 — stable “leaders”, 2 — with high variability from year to year, 3 — with stable average yield, 4 — stable “losers”

Analysis of the relationship between yield stability classes and standard deviation rank classes of NDVI values showed the following. Fields with stable high yield (“leaders”) never belong to the classes with largest NDVI spatial variation. Average values of intra-field variation of phytomass (standard deviation) are located mainly among fields with consistently average yields.

Analysis of the conjugacy of facies mosaic classes and grain yield stability classes showed that fields with maximum patchiness cannot be stable leaders in yield (Fig. 5). The number of stable “loser” fields increases as patchiness increases. The most monotonous fields and fields with variation in less than 50% of the area mainly belong to the group with a stable average grain yield.

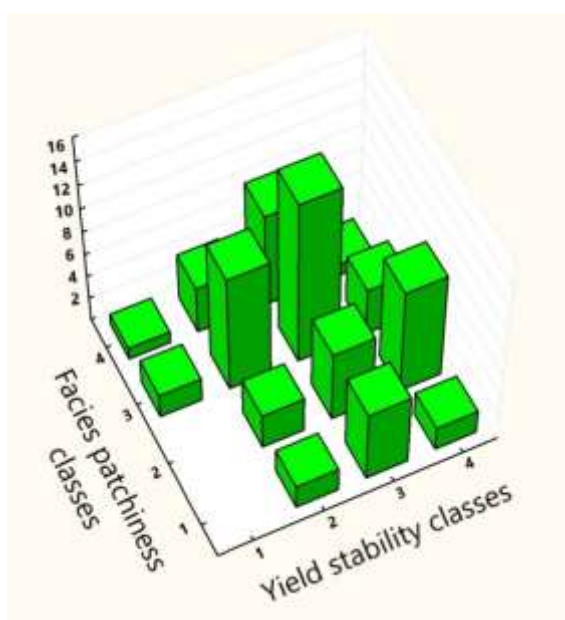


Figure 5. Distribution of frequency of fields between the classes of facies patchiness (1 — maximum, 4 — minimum) and yield stability classes (1 — stable “leaders”, 2 — high variability from year to year, 3 — stable average yield, 4 — stable “losers”)

Discussions

NDVI cannot be considered an informative indicator for assessing and predicting grain yields, at least not under any hydrothermal conditions. NDVI, by definition, shows the entire green mass (leaves, stems, etc.), and the measured yield indicates the grain mass. However, this is true only when analyzing the yield of grain crops; for example, when evaluating forage areas, NDVI can provide a direct estimate of yield [23]. During the entire growing season, photosynthesis plays a crucial role in the accumulation of ear biomass directly during the filling period, which takes place in mid-July [22]. Our study showed that, all other things being equal, facies patchiness manifests itself in the spatial variability of green phytomass, regardless of the crop type.

Significant clustering of NDVI values (according to the Moran index) with a weak dependence on the share of concave landforms means that the spatial variability of phytomass depends on local scale factors: facies patchiness (which is not captured by the available topographic data) or features of agricultural machinery activity.

The increase in the NDVI variation in wet years in near-hill terrain, compared with near-valley and watershed ones, is explained by the fact that during rain precipitation and snowmelt, additional moisture and sediments enter the plowed erosion-shaped landforms, which slightly increases the phytomass. Eroded slopes of convex positions, on the contrary, have smaller values.

The intra-field variation of NDVI values, i.e., the amount of green phytomass of cultivated crops, depends on the facies patchiness. Facies patchiness, in turn, is determined by the location (geographical location) of the field and its average slope: the steeper the slope and the more numerous erosion-shaped landforms, the higher the facies diversity. In the studied agricultural landscape, a neighborhood factor contributes as well: the matter input from the adjacent hill increases the variation of phytomass in the fields. Thus, facies patchiness creates conditions that either reduce the yield or make the yield unstable from year to year, and therefore less predictable.

Conclusions

1. The vegetation index NDVI is only partially informative for direct assessment of grain yield. The index values for July dates better reflect the yield than in June and August.
2. The hypothesis about the dependence of NDVI variation in the field area on the cultivated crop under the same landscape conditions was not confirmed.
3. The yield in fields with complex facies structure is usually lower than in homogeneous fields.
4. In dry years, intra-field variation of phytomass due to facies heterogeneity is less pronounced than in wet years.
5. The proximity to the hill is a significant factor that increases the spatial variability of phytomass due to the input of moisture and sediments along the erosion-shaped landforms.
6. High facial patchiness either reduces yields or increases their temporal variability and predictability.

Acknowledgments

The study was carried out within the framework of the State Task of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University No. 121051300176-1 “Factors and processes of spatial and temporal organization of natural and anthropogenic landscapes”.

References

- 1 Antrop M. Landscape Perspectives. The Holistic Nature of Landscape / M. Antrop, V. van Eetvelde. — Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2017. — 436 p.
- 2 With K.A. Essentials of landscape ecology / K.A. With. — Oxford: Oxford University Press, 2019. — 641 p.
- 3 Шукилович А.Ю. Применение сенсора MODIS для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / А.Ю. Шукилович, Е.В. Федотова, Ю.А. Маглинец // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Техника и технологии. — 2016. — № 9 (7). — С. 1035–1044.
- 4 Михайлов Н.Н. Использование временных рядов вегетационного индекса NDVI для мониторинга растительного покрова степной зоны Западной Сибири / Н.Н. Михайлов, Л.А. Михайлова, Н.Ф. Харламова, Ч. Лхагвасурэн // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Естественные науки. — 2010. — № 15(86). — С. 25–33.
- 5 Шинкаренко С.С. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS / С.С. Шинкаренко, С.А. Бартаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2020. — Т. 17, № 4. — С. 179–194.

- 6 Страшная А.И. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе комплексирования наземных и спутниковых данных в субъектах Южного федерального округа / А.И. Страшная, О.В. Береза, П.С. Кланг // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. — 2021. — № 2(380). — С. 111–137.
- 7 Гопп Н.В. Оценка влияния мезорельефа склона на пространственную изменчивость свойств почвы и характеристики растительного покрова по данным дистанционного зондирования земли / Н.В. Гопп, Т.В. Нечаева, О.А. Савенков // Исследование Земли из космоса. — 2016. — № 3. — С. 66–74.
- 8 Терехин Э.А. Сезонная динамика проективного покрытия растительности агроэкосистем на основе спектральной спутниковой информации / Э.А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2019. — Т. 16, № 4. — С. 111–123.
- 9 Лиджиева Н.Ц. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона черные земли / Н.Ц. Лиджиева, С.С. Уланова, Н.Л. Федорова // Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. — 2012. — Т. 12. — Вып. 2.
- 10 Гулянов Ю.А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов / Ю.А. Гулянов // Таврич. вестн. аграрной науки. — 2019. — № 3(19). — С. 64–76. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76>
- 11 Шевырнов А.П. Определение границ биомов на территории Евразии по динамике дисперсии NDVI на основе спутникового мониторинга / А.П. Шевырнов, А.А. Ларько, Г.С. Высоцкая, Л.А. Сомова // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 1. — С. 123–128.
- 12 Han J.C. Characterization of elevation and land cover dependent trends of NDVI variations in the Hexi region, northwest China / J.C. Han, Y. Huang, H. Zhang, X. Wu // Journal of Environmental Management. — 2019. — Vol. 232. — P. 1037–1048.
- 13 Золотокрылин А.Н. Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000–2014 гг. / А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Титкова, Е.А. Черенкова, В.В. Виноградова // Аридные экосистемы. — 2016. — Т. 22, № 1(66). — С. 5–10.
- 14 Тельнова Н.О. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии / Н.О. Тельнова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 6. — С. 97–107.
- 15 Gao Y. Spatial pattern of non-stationarity and scale-dependent relationships between NDVI and climatic factors — A case study in Qinghai-Tibet Plateau, China / Y. Gao, J. Huang, S. Li, Sh. Li // Ecological Indicators. — 2012. — Vol. 20. — P. 170–176.
- 16 Zhao Z. Exploring spatially variable relationships between NDVI and climatic factors in a transition zone using geographically weighted regression / Z. Zhao, J. Gao, Y. Wang, J. Liu, S. Li // Theoretical and Applied Climatology. — 2015. — Vol. 120(3-4). — P. 507–519. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1188-x>
- 17 Жуков А.В. Ландшафтная экология как основа пространственного анализа продуктивности агроценозов / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Г.А. Задорожная, Е.В. Андрусевич // Ecology and noospherology. — 2013. — Вып. 24. — № 1–2. — С. 68–80.
- 18 Гопп Н.В. Цифровое картографирование пространственной изменчивости параметров почв и растительности на юго-востоке Западной Сибири: дис. ... д-ра биол. наук / Н.В. Гопп. — Новосибирск: Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, 2021. — 269 с.
- 19 Николаев В.А. Ландшафты азиатских степей / В.А. Николаев. — М.: Моск. гос. ун-т, 1999. — 288 с.
- 20 Хорошев А.В. Влияние ландшафтных условий на урожайность зерновых культур в степной зоне Северного Казахстана / А.В. Хорошев, К.А. Ткач, Д.У. Муртазина // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2018. — № 3. — С. 62–69.
- 21 Погода и климат. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.pogodaiklimat.ru
- 22 Хоконова М.Б. Закономерности налива и прироста сухой биомассы яровой пшеницы / М.Б. Хоконова, А.А. Аджиева // Изв. Кабард.-Балкар. гос. аграр. ун-та им. В.М. Кокова. — 2016. — С. 6.
- 23 Ерошенко Ф.В. Возможность дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий / Ф.В. Ерошенко, С.А. Бартаев, Н.Г. Лапенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2018. — Т. 15, № 7. — С. 53–66.

Ф.К. Кирьянов-Греф, А.В. Хорошев, К.А. Анацкая

Қазақстанның дала агроландшафтарындағы фитомассаның егістік ішілік өзгергіштік факторлары

Дәнді дақылдардың шығымдылығы және оның болжамдылығы көбінесе ландшафтық жағдайлардың егістік ішіндегі әрқелкілігіне байланысты. Ақмола облысының далалық егіншілік ландшафтарын мысалға ала отырып, келесі міндеттер шешілді: 1) гидротермиялық жағдайларға байланысты өнімділікті бағалау үшін NDVI ақпараттық мазмұнын бағалау; 2) егістік ішілік теңбілдіктің NDVI мәндері мен шығымдылығына әсерін анықтау; 3) фитомассадағы егістік ішілік вариацияның жер мен бет құрылымына және гидротермиялық жағдайларға тәуелділігін белгілеу. 2009–2013 жылдардағы 80 егістік учаскелеріндегі бидай мен арпаның шығымдылығы және NDVI-ның егістік ішілік өзгергіштігі туралы деректер, елдімекен және фациальды құрылым туралы мәліметтер, гидротермиялық параметрлер туралы мәліметтер пайдаланылды. Фитомассаның кеңістіктік және уақыттық өзгергіштігі, ландшафтық және гидротермиялық факторлар арасындағы байланыс корреляциялық және дисперсиялық талдау әдістерін қолдану арқылы зерттелді. NDVI астық шығымдылығын тікелей бағалау үшін шектеулі ғана ақпарат беретіні анықталды. Шілде күндері үшін индекс мәндері маусым және тамыз айларына қара-

ғанда жақсы кірісті көрсетеді. Егістік алқаптағы NDVI теңбілдік көрсеткіштерінің өсірілген дақылға тәуелділігі туралы гипотеза расталмады. Күрделі фациялық құрылымы бар танаптардағы шығымдылық әдетте біртекті егістіктерге қарағанда төмен. Құрғақшылық жылдары фитомассадағы егістік ішілік вариация ылғалды жылдарға қарағанда азырақ байқалады. Төбе массивіне жақын орналасуы эрозия үйінділерінен ылғал мен шөгінділердің қосымша берілуі есебінен фитомассаның кеңістіктік өзгермелілігін арттыратын маңызды фактор болып табылады. Жоғары фациялы теңбілдік өнімділікті төмендетеді немесе оның уақытша өзгергіштігінің артуына және болжамдылықтың төмендеуіне ықпал етеді.

Кілт сөздер: ландшафт, фация құрылымы, теңбілдік, өнімділік, NDVI, өзгергіштік, гидротермиялық жағдайлар, көршілестік.

Ф.К. Кирьянов-Греф, А.В. Хорошев, К.А. Анацкая

Факторы внутриполевой изменчивости фитомассы в степных агроландшафтах Казахстана

Урожайность зерновых культур и ее прогнозируемость в значительной степени зависят от внутриполевой неоднородности ландшафтных условий. На примере степных агроландшафтов Акмолинской области решались задачи: 1) оценить информативность NDVI для оценки урожайности в зависимости от гидротермических условий; 2) установить влияние внутриполевой мозаичности на значения NDVI и урожайность; 3) определить зависимость внутриполевого варьирования фитомассы от урочищной и фациальной структуры и гидротермических условий. Использовались данные об урожайности пшеницы и ячменя и внутриполевой вариабельности NDVI на 80 полевых участках в 2009–2013 гг., сведения об урочищной и фациальной структуре, гидротермические параметры. Отношения между пространственной и временной изменчивостью фитомассы, ландшафтными и гидротермическими факторами исследовались методами корреляционного и дисперсионного анализа. Установлено, что NDVI лишь ограниченно информативен для прямой оценки урожайности зерна. Значения индекса за июльские даты лучше июньских и августовских отражают урожайность. Гипотеза о зависимости показателей мозаичности NDVI на полевом участке от возделываемой культуры не подтвердилась. Урожайность на полях со сложным фациальным строением обычно ниже, чем на однородных полях. В сухие годы внутриполевое варьирование фитомассы проявляется в меньшей степени, чем во влажные годы. Соседство с сопочным массивом является существенным фактором, повышающим пространственную вариабельность фитомассы за счет дополнительного привноса влаги и наносов по эрозионной. Высокая фациальная мозаичность либо снижает урожайность, либо способствует росту ее временной изменчивости и уменьшению прогнозируемости.

Ключевые слова: ландшафт, фациальная структура, мозаичность, урожайность, NDVI, изменчивость, гидротермические условия, соседство.

References

- 1 Antrop, M. & van Eetvelde, V. (2017). *Landscape Perspectives. The Holistic Nature of Landscape*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- 2 With, K.A. (2019). *Essentials of landscape ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- 3 Shukilovich, A.Yu., Fedotova, E.V., & Maglinet, Yu.A. (2016). Primenenie sensora MODIS dlia operativnogo monitoringa zemel selskokoziastvennogo naznacheniia [Application of MODIS sensor for operational monitoring of agricultural lands]. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii — Journal of Siberian Federal University. Techniques and technologies*, 9 (7), 1035–1044 [in Russian].
- 4 Mihailov, N.N., Mihailova, L.A., Harlamova, N.F., & Lhagvasuren, Ch. (2010). Ispolzovanie vremennykh riadov vegetatsionnogo indeksa NDVI dlia monitoringa rastitel'nogo pokrova stepnoi zony Zapadnoi Sibiri [Use of NDVI vegetation index time series for monitoring vegetation cover of the steppe zone of Western Siberia]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki — Scientific proceedings of Belgorod State University. Series Natural Science*, 15(86), 25–33 [in Russian].
- 5 Shinkarenko, S.S. & Bartalev, S.A. (2020). Sezonnaia dinamika NDVI pastbishchnykh landshaftov Severnogo Prikaspiia po dannym MODIS [Seasonal dynamics of NDVI of pasture landscapes of the Northern Pre-Caspian according to MODIS data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa — Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 17(4), 179–194 [in Russian].
- 6 Strashnaia, A.I., Bereza, O.V., & Clang, P.S. (2021). Prognozirovaniie urozhainosti zernovykh kultur na osnove kompleksirovaniia nazemnykh i sputnikovykh dannykh v subektakh Yuzhnogo federalnogo okruga [Forecasting of grain crop yields on the basis of ground and satellite data integration in the subjects of the Southern Federal District]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniia i prognozy — Hydrometeorological studies and forecasts*, 2 (380), 111–137 [in Russian].
- 7 Gopp, N.V., Nechaeva, T.V., & Savenkov, O.A. (2016). Otsenka vliianiia mezorelefa sklona na prostranstvennuu izmenchivost svoistv pochvy i kharakteristiki rastitel'nogo pokrova po dannym distantsionnogo zondirovaniia zemli [Assessment of the

influence of slope mesorelief on the spatial variability of soil properties and vegetation cover characteristics based on remote sensing data]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa — Study of Earth from cosmos*, 3, 66–74 [in Russian].

8 Terekhin, E.A. (2019). Sezonnaia dinamika proektivnogo pokrytiia rastitelnosti agroekosistem na osnove spektralnoi sputnikovoi informatsii [Seasonal dynamics of projective cover of vegetation of agroecosystems based on spectral satellite information]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa — Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 16 (4), 111–123 [in Russian].

9 Leedzhieva, N.Ts., Ulanova, S.S., & Fedorova, N.L. (2012). Opyt primeneniia indeksa vegetatsii (NDVI) dlia opredeleniia biologicheskoi produktivnosti fitotsenozov aridnoi zony na primere regiona chernye zemli [Experience in applying the vegetation index (NDVI) to determine the biological productivity of arid zone phytocenoses on the example of the Black Lands region]. *Izvestiia Saratovskogo universiteta — Proceeding of Saratov University. Series chemistry. Biology. Ecology*, 12 (2) [in Russian].

10 Gulianov, Yu.A. (2019). Monitoring fitometricheskikh parametrov s ispolzovaniem innovatsionnykh metodov skanirovaniia posevov [Monitoring of phytometric parameters using innovative crop scanning methods]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki — Tauric proceeding of agrarian science*, 3(19), 64–76 [in Russian]. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76>

11 Shevyrnogov, A.P., Larko, A.A., Vysotckaia, G.S., & Somova, L.A. (2019). Opredelenie granits biomov na territorii Evrazii po dinamike dispersii NDVI na osnove sputnikovogo monitoringa [Determination of biome boundaries in Eurasia by NDVI dispersion dynamics based on satellite monitoring]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia — Advances in modern natural science*, 1, 123–128 [in Russian].

12 Han, J.C., Huang, Y., Zhang, H., & Wu, X. (2019). Characterization of elevation and land cover dependent trends of NDVI variations in the Hexi region, northwest China. *Journal of Environmental Management*, 232; 1037–1048.

13 Zolotokrylin, A.N., Titkova, T.B., Cherenkova, E.A., & Vinogradova, V.V. (2016). Dinamika letnego uvlazhneniia i biofizicheskikh parametrov aridnykh pastbishch Evropeiskoi chasti Rossii v 2000–2014 gg. [Dynamics of summer moistening and biophysical parameters of arid pastures of the European part of Russia in 2000–2014.]. *Aridnye ekosistemy — Arid ecosystems*, 22(1(66)), 5–10 [in Russian].

14 Telnova, N.O. (2017). Vyavlenie i kartografirovaniie mnogoletnikh trendov NDVI dlia otsenki vklada izmenenii klimata v dinamiku biologicheskoi produktivnosti agroekosistem lesostepnoi i stepnoi zon Severnoi Evrazii [Identification and mapping of multi-year NDVI trends to assess the contribution of climate change to the dynamics of biological productivity of agroecosystems in the forest-steppe and steppe zones of Northern Eurasia]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa — Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14 (6), 97–107 [in Russian].

15 Gao, Y., Huang, J., Li, S., & Li, Sh. (2012). Spatial pattern of non-stationarity and scale-dependent relationships between NDVI and climatic factors — A case study in Qinghai-Tibet Plateau, China. *Ecological Indicators*, 20; 170–176.

16 Zhao, Z., Gao, J., Wang, Y., Liu, J., & Li, S. (2015). Exploring spatially variable relationships between NDVI and climatic factors in a transition zone using geographically weighted regression. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3-4); 507–519. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1188-x>

17 Zhukov, A.V., Kunakh, O.N., Zadorozhnaia, G.A., & Andrushevich, E.V. (2013). Landshaftnaia ekologiia kak osnova prostranstvennogo analiza produktivnosti agrotsenozov [Landscape ecology as a basis for spatial analysis of agroecosystem productivity]. *Ecology and noospherology*, 24(1–2), 68–80 [in Russian].

18 Gopp, N.V. (2021). Tsifrovoe kartografirovaniie prostranstvennoi izmenchivosti parametrov pochv i rastitelnosti na yugovostoke Zapadnoi Sibiri [Digital mapping of spatial variability of soil and vegetation parameters in the south-east of Western Siberia]. *Doctor's thesis*. Novosibirsk: Institut pochvovedeniia i agrokhemii Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk [in Russian].

19 Nikolaev, V.A. (1999). *Landshafty aziatskikh stepei [Landscapes of Asian steppes]*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].

20 Khoroshev, A.V., Tkach, K.A., & Murtazina, D.U. (2018). Vliianie landshaftnykh uslovii na urozhainost zernovykh kultur v stepnoi zone Severnogo Kazakhstana [Influence of landscape conditions on the yield of grain crops in the steppe zone of Northern Kazakhstan]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii 5. Geografiia — Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*, 3; 62–69 [in Russian].

21 Pogoda i klimat [Weather and climate]. Retrieved from <http://www.pogodaiklimat.ru> [in Russian].

22 Khokonova, M.B. & Adzhieva, A.A. (2016). Zakonomernosti naliva i prirosta sukhoi biomassy yarovoi pshenitsy [Regularities of the filling and dry biomass growth of spring wheat]. *Izvestiia Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni V.M. Kokova — Proceedings of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*, 6 [in Russian].

23 Eroshenko, F.V., Bartalev, S.A., & Lapenko, N.G. (2018). Vozmozhnosti distantsionnoi otsenki sostoiianiia i stepeni degradatsii prirodnykh kormovykh ugodii [Opportunities of remote sensing of the state and degree of degradation of natural fodder lands]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa — Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 15 (7); 53–66 [in Russian].

Information about authors

Kiryanov-Gref, Fedor Konstantinovich — Bachelor of geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation; kir_gref@mail.ru;

Khoroshev, Alexander Vladimirovich — Doctor of geographical sciences, Docent of Department of Physical Geography and Landscapes, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, avkh1970@yandex.ru;

Anatskaya, Ksenia Anatoljevna — Institute of Geography and Nature Management, Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan; anat_ka@yandex.ru.

Р.И. Локтев^{1*}, Р.А. Колесников¹, Д.В. Черных²

¹ Научный центр изучения Арктики, Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия;

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

*Автор для корреспонденции: rost.lok@mail.ru

Научно-популярный туризм в Ямало-Ненецком автономном округе

В статье проведен анализ существующих подходов к определению понятий «научный туризм» и «научно-популярный туризм». Дано авторское определение научно-популярного туризма. Выявлены основные туристские ресурсы научно-популярного туризма в Ямало-Ненецком автономном округе. Установлено, что, несмотря на наличие ресурсов, научно-популярные туры в регионе не разработаны. Наличие ресурсов позволяет говорить о перспективности развития научно-популярного туризма в Ямало-Ненецком автономном округе.

Ключевые слова: научный туризм, научно-популярный туризм, популяризация научного туризма, Ямало-Ненецкий автономный округ, SWOT-анализ, туризм, целевая аудитория.

Введение

Научный и научно-популярный туризм — перспективные направления развития туристской индустрии. В Российской Федерации в последние годы на государственном уровне довольно широко начали говорить о необходимости развития этого вида туризма. При этом содержание научного и научно-популярного туризма в стратегических документах и в научных публикациях трактуется далеко не однозначно.

С целью конкретизации определения научно-популярного туризма, его целей и задач, совершенствования механизмов развития в 2023 году Министерство науки и высшего образования Российской Федерации утвердило «Концепцию развития научно-популярного туризма до 2035 года», которая представляет собой основу для планирования и определения основных механизмов роста научно-популярного туризма в субъектах Российской Федерации. Инициатива по развитию научно-популярного туризма также стала одним из направлений «Десятилетия науки и технологий», объявленного Президентом России [1, 2].

В настоящее время в Российской Федерации научно-популярный туризм в наибольшей степени представлен в Москве (8 научно-популярных туров), Новосибирской (6 туров), Нижегородской (4 тура) и Томской (3 тура) областях. В меньшей степени он представлен в Амурской, Иркутской, Калужской областях, Краснодарском крае (по два тура), Санкт-Петербурге, Калининградской, Оренбургской областях, Красноярском и Приморском краях (по одному туру), в Ямало-Ненецком автономном округе — один научно-познавательный туристский маршрут. В остальных регионах научно-популярные туристские маршруты не оформлены. Всего на внутреннем туристском рынке разработано 34 научно-популярных тура и 1 научно-познавательный маршрут [3].

В Ямало-Ненецком автономном округе научно-популярный туризм рассматривают и как возможность развития туристической сферы, и как один из механизмов популяризации региональной науки. В 2022 году Губернатором Ямало-Ненецкого автономного округа Д.А. Артюховым утвержден «План мероприятий Ямало-Ненецкого автономного округа, проводимых в рамках десятилетия науки и технологий в Российской Федерации в 2022–2031 годах», который предусматривает реализацию двух научно-популярных маршрутов — «Ямальский криопарк» (раскрывает роль многолетней мерзлоты в жизнедеятельности человека) и «Ямальская археологическая экспедиция», посвященного археологии региона.

Несмотря на то, что научно-популярные маршруты указаны в стратегическом документе, сегодня они не реализуются. Во многом это связано с тем, что в автономном округе нет исследований, раскрывающих перспективы научно-популярного туризма, как нового направления в структуре туристской индустрии региона. До конца не определены потенциал Ямало-Ненецкого автономного округа в развитии данного направления и его ресурсы.

В связи с этим целью статьи является выявление существующего потенциала для формирования научно-популярного туристского продукта в Ямало-Ненецком автономном округе, а также определение внутренних и внешних факторов, влияющих на перспективы развития данного вида туризма в регионе.

Основные положения исследования сформулированы в рамках работ по проекту «Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру Ямало-Ненецкого автономного округа», реализуемому при поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа, а также в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

Материалы и методы исследования

Предметом исследования является научно-популярный туризм в Ямало-Ненецком автономном округе. В качестве исходного материала использовались статистические данные, нормативно-правовая база и научные публикации, характеризующие научный и научно-популярный туризм, стратегические документы, обеспечивающие государственную поддержку туристской деятельности, результаты собственных исследований авторов.

На первом этапе для упорядочения терминологии и характеристики структуры научного и научно-популярного туризма использовалась технология систематического обзора иностранных и российских научных работ. В ходе исследования проведены сравнительный анализ, обобщение, применен структурно-функциональный подход и принципы формальной логики, позволившие описать структуру научно-популярного туризма.

Анализ публикаций осуществлялся на основе критериев отбора, что позволило систематизировать библиографическую базу. В нее включены те публикации, в которых наиболее качественно раскрыты подходы к определению понятий «научный туризм» и «научно-популярный туризм», охарактеризованы ресурсы для организации этих направлений в туризме, практический опыт их организации.

На втором этапе проведен социологический опрос среди участников научно-популярных проектов и применен SWOT-анализ, который позволил оценить текущее состояние и перспективы развития научно-популярного туризма в Ямало-Ненецком автономном округе, путём рассмотрения как способствующих, так и лимитирующих факторов, внутренних и внешних возможностей региона.

Результаты и обсуждение

В мировой туристской практике и корреспондирующей научной литературе активно ведётся дискуссия о содержании научного туризма, его видах и формах организации. Не менее широко распространённый термин «научно-популярный туризм» употребляется как в качестве синонима научному туризму, так и как самостоятельный термин. В целом, в зарубежных и отечественных публикациях, посвященных вопросам концептуализации научного туризма, выделяются два подхода к его трактовке. В первом случае научный туризм рассматривается как составная часть уже существующих видов туризма, таких как экологический, познавательный, приключенческий, образовательный/академический, волонтерский, промышленный [4–11]. Например, в работах P. West (2008), М.А. Любарская, А.Н. Любарский (2013), Д.И. Марышкина (2016), Wei Guo и другие (2022) авторы определяют «научный туризм» как форму туризма, не связанную с наукой, а направленную на самообразование, получение новых знаний и расширение кругозора.

Во втором случае научный туризм рассматривается как самостоятельный вид туризма, направленный на реализацию научно-исследовательской деятельности с получением научных результатов [8, 12, 13]. Отличительная особенность научного туризма от иных форм заключается в мотивации туристов заниматься наукой. Так, L. Molokasova и S. Molokas подразделяют туристов на: любителей (туристы, которые, как правило, стремятся к углубленному изучению определенной научной дисциплины) и профессионалов-исследователей, которые проводят научные изыскания [14]. Согласно M.R.G. Revilla и O.M. Mouge, целевая аудитория научного туризма ограничена лишь студентами, преподавателями и исследователями (аспирантами) из разных областей наук, основной целью которых является расширение и дополнение их знаний. Учитывая мотивацию целевой аудитории, авторы определили научный туризм как посещение туристского объекта с целью проведения наблюдений и сбора данных, которые могут быть использованы в научных целях [15]. Согласно Ю.Е. Холодилиной (2011), научный туризм — это осуществление исследовательской (научной) деятельности на кон-

кретной территории, не являющейся местом постоянного проживания туриста в период от 24 ч до 6 мес. подряд без извлечения материальной выгоды, отличительным признаком которого является активное участие туриста в программе тура, а не просто получение интересной информации и созерцание объектов. В совместной статье Ж.А. Ермаковой и Ю.Е. Холодилиной (2014) выделено 6 признаков научного туризма: 1) немассовый, эксклюзивный вид туризма; 2) трудоёмкий по созданию туристского продукта; 3) капиталоемкий вид туризма; 4) сочетающий признаки различных видов туризма; 5) обусловленный вторичными потребностями человека; 6) использующий нетрадиционные источники финансирования.

М.А. Любарская, А.Н. Любарский (2013), Ж.А. Ермакова, Ю.Е. Холодилина (2014) подразделяют научный туризм на три вида: 1) ознакомительный (обзорный) — туристам демонстрируются объекты научных исследований и предоставляется квалифицированная информация по ним; 2) экспедиционный (вспомогательный) — участие туриста в составе экспедиционной группы в качестве вспомогательного персонала; 3) самостоятельный — турист проводит своё исследование в сотрудничестве с научным персоналом. В большинстве случаев туристом являются студент и аспирант.

Стоит отметить, что в России в 2019 году понятие научного туризма появляется не только в научной литературе, но и в нормативно-правовой среде. В утвержденной Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года под научным туризмом понимается путешествие без извлечения материальной выгоды в целях сбора научной информации, проведения научных исследований, посещения научных мероприятий [16].

Е.А. Крылова (2018) отмечает, что научный туризм может быть использован как отдельное направление в популяризации науки. По словам автора, реализация данного вида туризма будет способствовать: 1) улучшению имиджа Российской Федерации за рубежом как открытого научно-технического и инновационного центра; 2) повышению привлекательности исследований, разработок и учебы в России; 3) увеличению финансирования науки и образования за счет внутреннего и зарубежного инвестирования; 4) продвижению российской науки и образования, популяризации научного знания [17].

Интересное мнение высказал помощник первого заместителя председателя Сибирского отделения Российской академии наук и заместитель руководителя рабочей группы по научному туризму Сергей Ти. По сути, он не разделял научный и научно-популярный туризм, а определил это понятие как искусственно сконструированное, которое находится между наукой и туризмом. Он указал на необходимость учитывать людей, которые профессионально занимаются коммуникацией, созданием научных мероприятий и контента. По его мнению, научно-популярный туризм находится не на стыке двух сфер, а в центре треугольника «наука–туризм–популярные медиа». Определение, которое дал Сергей Ти, включает все три сферы: «Научно-популярный туризм — это когда есть и продукт, и прибыль, и познание, и научная коммуникация». От популяризаторской деятельности научный туризм отличает наличие прибыли» [18].

А.Ю. Баранова по результатам анализа публикаций представила авторскую трактовку научно-популярного туризма. Автор рассматривает научно-популярный туризм как собирательное понятие, включающее в себя деловой, экологический, культурно-познавательный, промышленный, образовательный, сельский виды туризма [2]. Главная цель научно-популярного туризма — решение приоритетных социально-экономических, экологических и производственных задач, сохранение исторического, культурного и природного наследия данной территории, развитие техники и технологий, создание инновационных товаров и услуг.

В публикации И.Ю. Пономаревой и В.Ю. Савиной научно-популярный туризм рассматривается как способ популяризации науки в доступном и интересном формате, совмещающий путешествие с исследованиями окружающего мира, знакомством с уникальными научными объектами, передовыми учеными и их научными школами [19].

В одной из наших работ [20] предложена модель познания ландшафта, которая имеет перспективы в качестве одной из моделей научно-популярного и одновременно экологического туризма. Данная модель может реализовываться как непосредственно в ходе полевых научных исследований, так и на специально разработанном маршруте при участии специалиста, обладающего большим объемом знаний о ландшафте. В модели изначально заложен такой алгоритм работы с туристом, когда на входе классический «пляжный» турист на выходе приобретает новые мотивации — желание приобщиться к природе, возможность эстетического удовлетворения, стремление к саморазвитию и др. Модель реализуется в три этапа: приобретение знаний о ландшафте–понимание ландшафта–постижение

ландшафта. Она опирается на положения ландшафтной парадигмы и может реализовываться в зависимости от специфики условий в одном или нескольких направлениях: познание ландшафта через различные состояния (переход ландшафта из одного состояния в другое в течение года), познание ландшафта как палимпсеста (рассмотрение каждого последующего эпизода, приводящего к изменению ландшафта, как отдельного «слоя»), познание ландшафта через индикаторы каких-либо феноменов (например, изменение климата), познание ландшафта через его образно-символические трактовки (сакральные объекты, ресурсные участки и др.).

Импульсом внимания к научно-популярному туризму в России стало поручение Президента Российской Федерации В.В. Путина [21]. С этого времени появляется ряд научных публикаций, посвященных структуре научно-популярного туризма и перспективам его регионального развития [2, 19, 22, 23]. Также в 2022 году Министерством науки и высшего образования Российской Федерации была утверждена «Концепция развития научно-популярного туризма» (далее — Концепция), которая предлагается как основа для планирования и определения механизмов развития научно-популярного туризма. Она включает в себя подготовку кадров для обеспечения научно-популярного туризма, описывает целевую аудиторию, роль вузов, научно-исследовательских центров и регионов в формировании маршрутов, а также финансовое обеспечение. Авторы Концепции предполагают, что научно-популярный туризм позволит широкой аудитории окунуться в атмосферу научных исследований, поможет обрести ясное представление о работе ученого и популяризирует данную область в целом. Научно-популярный туризм представлен в Концепции как временные выезды (путешествия) граждан Российской Федерации, иностранных граждан и лиц без гражданства с постоянного места жительства в познавательных, профессионально-деловых и иных целях, осуществляющиеся по утвержденным маршрутам с посещением объектов инфраструктуры организаций, сопряженных с научной, инновационной, образовательной, просветительской деятельностью, с соблюдением требований безопасности и режима охраны указанных объектов, способствующие популяризации достижений российской науки и технологий.

Таким образом, из анализа представленных определений следует, что научный и научно-популярный туризм преследуют разные цели. Научный туризм — это нишевый вид туризма, он представляет собой путешествие главной целью которого является получение научного результата путем проведения изысканий на конкретной территории. Потребителями (целевой аудиторией) этого вида туризма являются учёные и «любители» (неучёные). Мотивация первых заключается в достижении своих научных целей при посещении объекта исследования, а вторых — внесение вклада в научное исследование. Особенность формирования данного вида туризма заключается в том, что учёный выступает в роли организатора и обеспечивает наполнение программы тура, любитель (неучёный) выступает в качестве источника дополнительного финансирования.

Под научно-популярным туризмом, как правило, понимается такой вид туризма, основной целью которого является привлечение общественного внимания к науке, ее популяризация через туристические формы. Туризм здесь используется в качестве средства коммуникации между учёными и широкой целевой аудиторией (от исследователей, аспирантов, студентов, школьников до рядовых граждан). Ресурсной базой для формирования туристского продукта научно-популярного туризма являются: 1) объекты научной, академической и промышленной инфраструктуры; 2) образовательные и научные мероприятия; 3) экспедиционные исследования; 4) природные, историко-культурные, инфраструктурные объекты, имеющие научное значение.

В мировой туристской практике возникновение «научного туризма» связано с проведением экспедиций и полевых исследований, которые финансировали сами учёные или финансово обеспеченные люди. Так, М.А. Morse отмечает взаимосвязь научного туризма с «Гранд-туром», который популярен среди британских аристократов до XIX века [24].

Первое толкование понятия «научного туризма» появилось в 1989 году в статьях J. G. Laarman и R. R. Perdue «Научный туризм в Коста-Рике» (Science tourism in Costa Rica) и «Тропическая наука и туризм: пример OTS в Коста-Рике» (Tropical science and tourism. The case of OTS in Costa Rica). Авторы опубликовали свои наблюдения во время проведения практики студентов в Коста-Рике и использовали понятие «научного туризма» для описания данной академической деятельности [25, 26]. Результаты показывают, что научный туризм, рассматриваемый как подкомпонент природного туризма, заслуживает серьезного внимания в некоторых небольших странах, таких как Коста-Рика.

В 2000-х годах положительный опыт внедрения научного туризма получил Центр исследований экосистем Патагонии (Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, CIEP). Развитие этого

направления ведётся в целях развития устойчивого туризма в отдаленных горных районах Патагонии (Испания). С 2007 года Центром реализуются программы по переписи китов, археологических экспедиций, программы по обучению и экологическому волонтерству, а также учебные курсы по географии и экотуризму. На протяжении нескольких лет в данную работу были вовлечены более 100 местных туристских операторов, а также около 200 ученых и охватило более 800 исследователей, студентов, волонтеров и любителей приключений [9].

В Китае последнее время большинство ученых сосредоточили внимание на существующих природных ресурсах, таких как водно-болотные угодья и парки, и разработали маршруты научного туризма на их основе. Также пользуются популярностью университетские городки, демонстрирующие публикации новейшие технологии в области контроля за загрязнением окружающей среды на основе собственной инновационной платформы экологических технологий [27].

В России «научный туризм», как самостоятельное направление, появился в 1980 году по инициативе академика, президента Географического общества СССР А.Ф. Трешникова. В этот период времени при Президиуме Географического общества была создана Комиссия научного туризма в целях проведения экспедиционной и исследовательской работы по выявлению перспективных районов и объектов туризма, изучению этих районов, описанию выявленных объектов и памятников, разработке новых ниток туристских маршрутов и экскурсий, составлению отчетов, туристических карт путеводителей [28, 29].

В Ямало-Ненецком автономном округе сегодня не существует ни одного реализуемого научно-популярного тура. Однако имеется довольно широкий спектр мероприятий, где присутствуют элементы научно-популярного туризма. Одним из таких примеров являются проекты по очистке территории региона от загрязнений, оставленных в эпоху активного освоения севера Западной Сибири в советское время. Работа организована таким образом, что самой очистке предшествует проводимая Научным центром изучения Арктики оценка состояния окружающей среды и разработка природоохранных мероприятий, реализация которых позволяет провести полноценную рекультивацию территорий. Именно на этом этапе ученые привлекают к своим экологическим исследованиям добровольцев МОЭО «Зеленая Арктика», которые помогают провести полевые изыскания: копают шурфы и учатся описывать почвенные разрезы, проводят инвентаризацию брошенных отходов, под руководством геоботаника выполняют геоботанические описания, изучают гидрологические характеристики водных объектов и т.д. Для добровольцев из разных регионов России и зарубежных стран читаются научно-популярные лекции. В проведении работ также участвуют представители средств массовой информации, которые освещают проводимые исследования, снимают фильмы о работе ученых Научного центра изучения Арктики и добровольцев МОЭО «Зеленая Арктика» [30]. За последние пять лет было проведено 7 таких мероприятий (на острове Вилькицкого — 3, на полуострове Ямал — 4 экспедиции).

Среди 208 участников данных проектов был проведен социологический опрос о цели участия в экспедициях. Необходимо отметить, что большинство респондентов связывают свое участие в проектах либо с желанием улучшить состояние окружающей среды в Арктике (22 %) и приобщиться к сообществу экологов (14 %) либо со стремлением узнать новое о природе Арктики, получить новые знания и навыки (18 %), помочь ученым и экологам (19 %). Для 15 % респондентов участие в данных мероприятиях — это туризм, а для незначительной части (3 %) — это сбор научного и творческого материала (см. рис.).

Собранный социологический материал позволяет сделать предположение, что научно-популярные туры экологической и ландшафтной направленности должны включать три важных элемента: теоретическую и практическую научную часть, интересные научно-популярные лекции и обязательно связанную с практическими действиями, направленными на улучшение состояния окружающей среды работу.

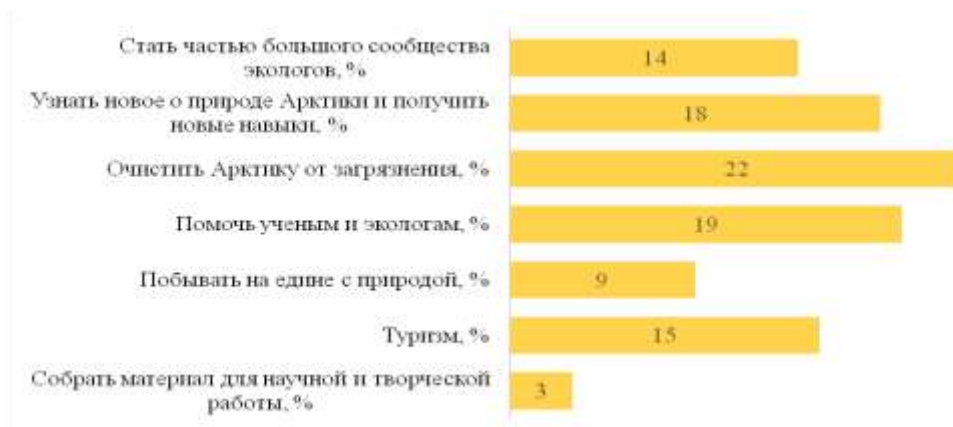


Рисунок. Результаты опроса о целях участия в экологических проектах

Отсутствие разработанных и реализуемых научно-популярных туров во многом связано с тем, что оценка ресурсного потенциала ЯНАО в этой части не осуществлялась. В ходе нашего исследования для удобства выявления ресурсов, которые могут быть вовлечены в процесс формирования научно-популярного туризма в автономном округе, мы разделили их на основе нескольких критериев:

1 *По тематическим направлениям научных исследований:* геоэкологические, гидрологические, биологические, геокриологические, инженерно-технические, археологические и этнологические и др.

2 *По субъектам, имеющим объекты научной инфраструктуры:*

- государственное автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики» (научная организация имеет лаборатории, изучающие уникальные объекты окружающей среды Арктики и Субарктики, криосферу; функционирует карбоновый полигон);

- Арктический научно-исследовательский стационар Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук в г. Лабытнанги, сотрудники которого осуществляют круглогодичный мониторинг биоты севера Западной Сибири;

- некоммерческое партнёрство «Российский центр освоения Арктики» — организация имеет разветвленную сеть научных стационаров в разных самых удаленных уголках ЯНАО;

- особо охраняемые природные территории, расположенные в ЯНАО, в границах которых проводятся научные исследования, реализуются различные программы по охране и животных и растений;

- промышленные объекты (Тюменская сверхглубокая скважина СГ-6. Одна из самых глубоких скважин в России, пробурённая на глубину 7502 м. Находится в 80 км от Нового Уренгоя, в районе Коротчаево; нефтеналивной терминал «Ворота Арктики», расположенный в акватории Обской губы в районе села Мыс Каменный, предназначен для круглогодичной отгрузки в танкеры нефти Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения; научно-производственное объединение Собский рыболовный завод в пгт. Харп, где выращивают жизнеспособную молодь ценных видов сиговых рыб для дальнейшего выпуска в водоемы Обь-Иртышского рыбохозяйственного бассейна с целью компенсации ущерба, нанесённого водным биологическим ресурсам субъектами предпринимательской деятельности и др.);

- мониторинговые площадки, расположенные на территории автономного округа.

3 *По инициаторам научных и научно-просветительских мероприятий:*

- научные мероприятия, проводимые в Ямало-Ненецком автономном округе, в том числе Департаментом внешних связей ЯНАО и ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Например, научно-практическая конференция «Обдорья», Ямальский нефтегазовый форум, Всероссийская (с международным участием) конференция «Мерзлотные почвы в антропоцене» и т.д.;

- мероприятия, предусмотренные планом Ямало-Ненецкого автономного округа и проводимые в рамках десятилетия науки и технологий в Российской Федерации в 2022–2031 годах.

4 *По принадлежности к культурно-досуговым учреждениям, на базе которых организуются просветительские мероприятия, направленные на ознакомление с природными, этнокультурными и историко-культурными особенностями региона:*

- музеи, музейные комплексы (ГБУ ЯНАО «Ямало-Ненецкий окружной музейно-выставочный комплекс им. И.С. Шемановского» (г. Салехард), ГБУ ЯНАО «Окружной Дом ремёсел» (г. Салехард), МБУК «Городской краеведческий музей» (г. Лабытнанги), МУК «Музей археологии и истории г.

Надыма» (г. Надым), филиал МУК «Музей археологии и истории г. Надыма — Дом природы» (г. Надым), МБУК «Ямальский районный музей» (Ямальский район), МБУК «Приуральский районный краеведческий музей» (с. Аксарка, Приуральский район), МБУ «Шурышкарский районный музейный комплекс» (Шурышкарский р-н), Овгортский краеведческий музей Е.И. Тыликовой (Шурышкарский р-н), МБУ «Тазовский районный краеведческий музей» (Тазовский р-н), МУК «Красноселькупский районный краеведческий музей» (Красноселькупский р-н), МБУК «Пуровский районный историко-краеведческий музей» (Пуровский р-н), МБУК «Уренгойский краеведческий музей» (г. Новый Уренгой), МБУК «Ханымейский историко-краеведческий музей» (Пуровский р-н), МБУК «Эколого-краеведческий музей г. Муравленко» (г. Муравленко), МБУК «Музейный ресурсный центр» (г. Ноябрьск), МБУ «Губкинский музей освоения Севера» (г. Губкинский) и др.);

- этнографические комплексы и парки (природно-этнографический парк-музей «Живун»; Дом-музей «Коми-изба»; мероприятия на базе МУК «Красноселькупский районный краеведческий музей»; МАУК «Природно-этнографический комплекс «Горнокнязевск»; этнокультурное стойбище «Сердце Ягельной Земли») [31].

С целью выявления внешних угроз для научно-популярного туризма и определения внутренних возможностей для его развития построена матрица SWOT-анализа (табл. 1). Представленные в ней данные свидетельствуют о том, что, с одной стороны, у региона есть предпосылки и возможности для развития научно-популярного туризма. Однако, с другой — выявлен ряд факторов, в значительной степени влияющих на становление данного вида туризма.

Несомненно, к сильным сторонам исследуемого региона относится то, что правительство Ямало-Ненецкого автономного округа поддерживает региональную научную деятельность. В автономном округе реализуются планы приоритетных научных исследований, работает региональный исследовательский центр. На базе ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» развивается ряд направлений по изучению уникальных арктических и субарктических ландшафтов [32, 33], природных и природно-хозяйственных систем, криосферы, объектов археологии [34], этнокультуры. Обустраивается первый в Арктике карбоновый полигон «Семь лиственниц», созданы соответствующие лаборатории, на базе которых проводят исследования не только местные ученые, но и исследователи из разных регионов России, проводятся практики для студентов, магистрантов и аспирантов вузов России и стран ближнего зарубежья. В ЯНАО оказывается финансовая и организационная поддержка не только региональному научному центру, но и находящимся в автономном округе федеральным исследовательским центрам (например, Арктический научно-исследовательский стационар Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук в г. Лабытнанги). Создается международная арктическая станция «Снежинка» — круглогодичный и полностью энергетически автономный комплекс, который будет функционировать на базе возобновляемых источников энергии и водородной энергетики. Перечисленные объекты в полной мере пригодны для развития научно-популярного туризма.

Другой сильной стороной региона является наличие уникальных природных, этнокультурных, историко-культурных и промышленных объектов, имеющих научную ценность. В настоящее время все больше исследователей и путешественников стремится посетить данные объекты.

Помимо сильных сторон для развития научно-популярного туризма в регионе есть и ряд ограничений, которые снижают возможности его продвижения. Во-первых, сложная транспортная схема доставки туристов к месту реализации программы туров, которая напрямую влияет на ценообразование туристского продукта. Во-вторых, отсутствие специализированного регионального туристского оператора и в целом заинтересованности у туроператоров в продвижении научно-популярного туризма. В-третьих, отсутствие специалистов, которые будут предоставлять качественные услуги при реализации научно-популярного туризма. В-четвертых, слаборазвитые туристская инфраструктура и сфера предоставления услуг. В-пятых, отсутствие региональной стратегии развития туризма и индустрии гостеприимства. Указанные минусы отрицательно влияют не только на научно-популярный туризм, но и на другие направления туристической деятельности, на что авторы статьи указывали и ранее [35–37]. Ликвидация указанных проблем позволит более эффективно развивать туризм в Ямало-Ненецком автономном округе (см. табл.).

Матрица SWOT-анализа внешних и внутренних факторов, влияющих на перспективу развития научно-популярного туризма в Ямало-Ненецком автономном округе

Внутренние факторы	S (Сильные стороны): – наличие региональных исследовательских центров и плана приоритетных научных исследований; – наличие природных, этнокультурных, историко-культурных и промышленных объектов, имеющих научную ценность; – заинтересованность органов местной власти в развитии данного направления туризма; – опыт участия в проведении научно-популярных экскурсий и лекций	W (Слабые стороны): – отсутствие региональной стратегии развития туризма и индустрии гостеприимства; – сложная логистическая схема доставки группы туристов к месту реализации программы научно-популярного маршрута; – слаборазвитая туристская инфраструктура и сфера предоставления услуг; – отсутствие специализированных туристских операторов, ориентированных на формирование научно-популярного туристского продукта; – сложность в получении разрешений на посещения объектов туристского показа, находящихся на территории ООПТ и в зоне пограничного контроля
Внешние факторы		
О (Возможности): – вовлечение молодежи в научную, научно-техническую и инновационную деятельность; – популяризация региональной науки среди широкой общественности; – налаживание межрегиональных и международных (дружественных) связей	SO (Сильные стороны + Возможности): – создание централизованного управления по развитию научно-популярным туризмом в регионе; – развитие потенциала туристских объектов с более высоким качеством, чтобы конкурировать с другими регионами	WO (Слабые стороны + Возможности): – дороговизна научно-популярного туристского продукта; – отсутствие желания у региональных субъектов научной инфраструктуры участвовать в программе научно-популярного тура
Т (Угрозы): – нестабильная социально-экономическая и политическая обстановка мире; – низкий уровень дохода у населения из других регионов России и стран ближнего зарубежья; – формальное отношение к развитию научно-популярного туризма в регионе; – влияние природно-климатических факторов при проведении научно-популярных туров	ST (Сильные стороны + Угрозы): – возможность формирования гибкого научно-популярного туристского продукта; – формирование стратегии продвижения регионального научно-популярного туристского продукта.	WT (Слабые стороны + Угрозы): – обеспечение безопасности туристских групп; – отсутствие методов подготовки специалистов, которые будут предоставлять качественные услуги при реализации научно-популярного туризма

Заключение

Научно-популярный туризм является видом научного туризма, основная цель которого — привлечение общественного внимания к науке, ее популяризация через туристские формы. Туризм используется в данном случае в качестве средства коммуникации между учёными и целевой аудиторией (от исследователей, аспирантов, студентов, школьников до рядовых граждан). Ресурсной базой научно-популярного туризма являются объекты научной и промышленной инфраструктуры, образовательные и научные мероприятия, экспедиции, природные, историко-культурные, инфраструктурные объекты, имеющие научное значение.

Ямало-Ненецкий автономный округ обладает необходимыми природно-климатическими и историко-культурными характеристиками, которые на протяжении многих десятилетий привлекают путешественников, исследователей и учёных. Сложившаяся на территории округа научная и природо-

охранная инфраструктура (развитая сеть научных стационаров, станций, лабораторий, мониторинговых площадок, наличие особо охраняемых природных территорий и др.), а также научные достижения и открытия в регионе в области географии, геологии и инженерно-геологических изысканий, геоэкологии, экологии животных и растений, этнографии, археологии, могут стать основой для формирования научно-популярного туризма.

Комплексное использование туристско-рекреационного потенциала ландшафтов, научного потенциала и научной инфраструктуры Ямало-Ненецкого автономного округа способно сформировать востребованный туристский продукт.

Работа выполнена при поддержке Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках проекта «Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру Ямало-Ненецкого автономного округа» и в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

Список литературы

- 1 Концепция развития научно-популярного туризма в Российской Федерации на период до 2035 года. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=63453.
- 2 Баранова А.Ю. Научно-популярный туризм: структура и методы финансирования / А.Ю. Баранова // Управленческий учет. — 2022. — № 4–2. — С. 237–243.
- 3 Развитие научно-популярного туризма в регионах России. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://scienceid.net/tourism/region?page=1&per-page=9>.
- 4 Slocum S. Scientific tourism: researchers as travelers / S. Slocum, C. Kline, A. Holden. — Routledge, 2015.
- 5 Shah C. Deciphering tourism and the acquisition of knowledge: Advancing a new typology of “Research-related Tourism (RrT)” / C. Shah, A. Trupp, M.L. Stephenson // Journal of Hospitality and Tourism Management. — 2022. — Vol. 50. — P. 21-30.
- 6 Shah C. Conceptualizing local perceptions of research-related tourism in an indigenous village in Fiji / C. Shah, A. Trupp, M.L. Stephenson // International Journal of Tourism Research. — 2023. — P. 1-13. <https://doi.org/10.1002/jtr.2578>
- 7 West P. Tourism as science and science as tourism: Environment, society, self, and other in Papua New Guinea / P. West // Current anthropology. — 2008. — Vol. 49, No. 4. — P. 597-626.
- 8 Margoni C.C. Turismo científico: conhecimento produzido em viagens / C.C. Margoni, P.A. Netto, M.G.R. Ansarah // Produtos turísticos e novos segmentos de mercado: planejamento, criação e comercialização. — 2015. — P. 163-173.
- 9 Bourlon F. Scientific tourism a tool for tourism development in Patagonia [Electronic resource] / F. Bourlon, R. Torres. — 2016. — Access mode: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01954694/document>.
- 10 Wei G. Suitability Evaluation of Popular Science Tourism Sites in University Towns: Case Study of Guangzhou University Town / G. Wei, W. Da-Fang, L. Yue, W. Feng-Xi, Y. Yong-Qi, L. Hua-Wei, Zh. Chi-Fang // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, No. 4. — P. 2296-2318.
- 11 Марышкин Д.И. Организация научного туризма на научно-учебном полигоне «Сарма» в Приольхонье / Д.И. Марышкин // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2016. — Т. 15. — С. 66–76.
- 12 Холодилина Ю.Е. Теоретические аспекты развития научного туризма в регионе / Ю.Е. Холодилина // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2011. — № 13 (132). — С. 500–505.
- 13 Ермакова Ж.А. Особенности научного туризма как самостоятельного вида туризма / Ж.А. Ермаков, Ю.Е. Холодилина // Туризм и региональное развитие. — 2014. — № 7. — С. 36–40.
- 14 Molokacova L. Scientific tourism—tourism in Science or Science in tourism / L. Molokacova, S. Molokac // Acta Geoturistica. — 2011. — Vol. 2, No. 1. — P. 41-45.
- 15 Revilla M.R.G. Turismo científico y ciudades del future / M.R.G. Revilla, O.M. Moure // International Journal of Scientific Management and Tourism. — 2017. — Vol. 3, No 1. — P. 123-130.
- 16 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.09.2019 г. № 2129-р «Об утверждении г “Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года”». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.consultant.ru/>
- 17 Крылова Е.А. Научный туризм как одна из форм научной дипломатии России / Е.А. Крылова // Аллея науки. — 2018. — Т. 1, № 2. — С. 18.
- 18 Наука в Сибири. Научно-популярный туризм глазами научных коммуникаторов. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.sbras.info/articles/mneniya/nauchno-populyarnyy-turizm-glazami-nauchnykh-kommunikatorov>
- 19 Пономарева И.Ю. Исторические предпосылки развития научно-популярного туризма в Тульской области / И.Ю. Пономарева, В.Ю. Савинов // Российские регионы: взгляд в будущее. — 2022. — Т. 9, № 3–4. — С. 64–73.
- 20 Черных Д.В. Познание ландшафта — неисчерпаемый ресурс для экологического туризма (размышления на материале Тигирекского заповедника) / Д.В. Черных, Л.Ф. Лубенец // Экологический туризм: современные векторы развития. — Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2022. — С. 80–86.
- 21 Чернышенко Д. В России стартует Программа научно-популярного туризма для молодежи / Д. Чернышенко. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://government.ru/news/46998/>

- 22 Крылова Е.А. Научно-популярный туризм как новое туристическое направление в экономике России / Е.А. Крылова // Креативная экономика. — 2022. — Т. 16, № 5. — С. 1829-1848.
- 23 Малых Е.С. Перспективы развития научно-популярного туризма в Кировской области / Е.С. Малых, А.И. Сметанина // Вестн. Северо-Восточного федерал. ун-та им. М.К. Аммосова. Сер. Науки о Земле. — 2023. — № 2. — С. 114-118.
- 24 Morse M.A. All the World's a Field: A History of the Scientific Study Tour / M.A. Morse // Progress in tourism and hospitality research. — 1997. — Vol. 3. — P. 257-269. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1603\(199709\)](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1603(199709)).
- 25 Laarman J.G. Tropical science and tourism. The case of OTS in Costa Rica / J.G. Laarman, R.R. Perdue // Tourism Management. — 1989. — Vol. 10(1). — P. 29-38. [https://doi.org/10.1016/0261-5177\(89\)90032-0](https://doi.org/10.1016/0261-5177(89)90032-0).
- 26 Laarman J.G. Science tourism in Costa Rica / J.G. Laarman, R.R. Perdue // Annals of Tourism Research. — 1989. — Vol. 16(2). — P. 205-215. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(89\)90068-6](https://doi.org/10.1016/0160-7383(89)90068-6).
- 27 Guo W. Suitability evaluation of popular science tourism sites in university towns: case study of guangzhou university town / W. Guo, D.F. Wu, Y. Li, F.X. Wang, Y.Q. Ye, H.W. Lin, C.F. Zhang // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, No. 4. — P. 2296.
- 28 Иванова Р.Н. Содержание и объекты научного туризма в Якутии / Р.Н. Иванова // Вестн. Северо-Восточного федерал. ун-та им. М.К. Аммосова. — 2012. — Т. 9, № 2. — С. 73-77.
- 29 Пахомова О.М. Научный туризм как одно из перспективных направлений внутреннего туризма России / О.М. Пахомова // Новая наука: стратегии и векторы развития. — 2016. — № 11. — С. 99-102.
- 30 Андреев Г.А. Становление арктического экологического волонтерства в Ямало-Ненецком автономном округе и пути его развития / Г.А. Андреев, Р.А. Колесников, Е.В. Рожковский // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. — 2020. — № 4 (109). — С. 4-13.
- 31 Локтев Р.И. Этнокультурный туризм в Ямало-Ненецком автономном округе: современное состояние и перспективы / Р.И. Локтев, Е.Н. Моргун // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. — 2019. — № 1. — С. 132-140.
- 32 Черных Д.В. Катенарная дифференциация геосистем Надымских сопок (Ямало-Ненецкий автономный округ) / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Р.А. Колесников, А.С. Печкин // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. — 2022. — № 3 (116). — С. 80-96.
- 33 Черных Д.В. Катенарная дифференциация ландшафтов в лесотундре Тазовского полуострова (Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия) / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Р.А. Колесников, А.С. Печкин // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. — Воронеж, 2023. — С. 175-177.
- 34 Kolesnikov R. Stratigraphy and geoarchaeology of the multilayer settlement of Yamgort-I in the subarctic zone of Western Siberia / R. Kolesnikov, O. Tupakhina, D. Tupakhin, L. Plekhanova // Relacoes Internacionais no Mundo Atual. — 2022. — Vol. 4(37). — P. 884-899.
- 35 Колесников Р.А. Анализ развития туризма в Ямало-Ненецком автономном округе и его влияние на социально-экономическое развитие региона / Р.А. Колесников, Р.И. Локтев // Ямальский вестник. — 2015. — № 2 (3). — С. 64-69.
- 36 Колесников Р.А. Туризм как один из элементов диверсификации экономики Ямало-Ненецкого автономного округа / Р.А. Колесников, Р.И. Локтев // География и природные ресурсы. — 2019. — № 4 (158). — С. 184-192.
- 37 Локтев Р.И. Горные приюты Полярного Урала как объект рекреации и элемент развития туристской деятельности в Арктике / Р.И. Локтев, Р.А. Колесников, А.И. Сеницкий, Е.Н. Моргун // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. — 2018. — № 1 (98). — С. 40-46.

Р.И. Локтев, Р.А. Колесников, Д.В. Черных

Ямало-Ненецк автономиялык округіндегі ғылыми–танымдық туризм

Мақалада «ғылыми туризм» және «ғылыми-танымдық» туризм ұғымдарын анықтауда қолданыстағы тәсілдерге талдау жасалған. Ғылыми-танымдық туризмнің авторлық анықтамасы берілген. Ямало-Ненецк автономиялық округіндегі ғылыми-танымдық туризмнің негізгі туристік ресурстары анықталды. Ресурстардың болуына қарамастан, аймақта ғылыми-танымдық турлардың дамымағандығы айқындалды. Ямало-Ненецк автономиялық округінде ресурстардың болуы ғылыми-танымдық туризмді дамытудың болашағы туралы айтуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: ғылыми туризм, ғылыми-танымдық туризм, ғылыми туризмді насихаттау, Ямало-Ненецк автономиялық округі, SWOT-талдау, туризм, максатты аудитория.

R.I. Loktev, R.A. Kolesnikov, D.V. Chernykh

Scientific and popular tourism in the Yamal-Nenets Autonomous District

The article analyzes the existing approaches to the definition of the concepts of scientific tourism and popular science tourism. The author's definition of popular science tourism is given. The main tourist resources of popular science tourism in the Yamal-Nenets Autonomous District have been identified. It has been established that despite the availability of resources, popular science tours in the region have not been developed. The availability of resources allows us to talk about the prospects for the development of popular science tourism in the Yamal-Nenets Autonomous District.

Keywords: scientific tourism, Scientific and popular tourism, popularization of scientific tourism, Yamal-Nenets Autonomous District, SWOT-analysis, tourism, target group.

References

- 1 Kontseptsiiia razvitiia nauchno-populiarnogo turizma v Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda [Concept of scientific and popular tourism development in the Russian Federation for the period up to 2035]. Retrieved from https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=63453 [in Russian].
- 2 Baranova, A.Yu. (2022). Nauchno-populiarnyi turizm: struktura i metody finansirovaniia [Scientific and popular Tourism: Structure and Methods of Financing]. *Upravlencheskii uchet — Management accounting*, 4-2, 237–243 [in Russian].
- 3 Razvitie nauchno-populiarnogo turizma v regionakh Rossii [Development of scientific and popular tourism in Russian regions]. Retrieved from <https://scienceid.net/tourism/region?page=1&per-page=9> [in Russian].
- 4 Slocum, S., Kline, C., & Holden, A. (2015). *Scientific tourism: researchers as travelers*. Routledge.
- 5 Shah, C., Trupp, A., & Stephenson, M.L. (2022). Deciphering tourism and the acquisition of knowledge: Advancing a new typology of “Research-related Tourism (RrT)”. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 50; 21-30.
- 6 Shah, C., Trupp, A., & Stephenson, M.L. (2023). Conceptualizing local perceptions of research-related tourism in an indigenous village in Fiji. *International Journal of Tourism Research*, 1-13. <https://doi.org/10.1002/jtr.2578>
- 7 West, P. (2008). Tourism as science and science as tourism: Environment, society, self, and other in Papua New Guinea. *Current anthropology*, 49(4); 597-626.
- 8 Margoni, C.C., Netto, P.A., & Ansarah, M.G.R. (2015). Turismo científico: conhecimento produzido em viagens. *Produtos turísticos e novos segmentos de mercado: planejamento, criação e comercialização*, 163-173.
- 9 Bourlon, F. & Torres, R. (2016). Scientific tourism a tool for tourism development in Patagonia. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01954694/document>
- 10 Wei, G., Da-Fang, W., Yue, L., Feng-Xi, W., Yong-Qi, Y., Hua-Wei, L., & Chi-Fang, Zh. (2022). Suitability Evaluation of Popular Science Tourism Sites in University Towns: Case Study of Guangzhou University Town. *Sustainability*, 14(4); 2296-2318.
- 11 Maryshkin, D.I. (2016). Organizatsiia nauchnogo turizma na nauchno-uchebnom poligone «Sarma» v Priolkhone [Organization of scientific tourism at the scientific training ground “Sarma” in Priolkhonye]. *Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Nauki o Zemle — News of Irkutsk State University. Series: Geosciences*, 15, 66–76 [in Russian].
- 12 Kholodilina, Yu.E. (2011). Teoreticheskie aspekty razvitiia nauchnogo turizma v regione [Theoretical aspects of scientific tourism development in the region]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Orenburg state university*, 13 (132), 500–505 [in Russian].
- 13 Ermakova, Zh.A., & Kholodilina, Yu.E. (2014). Osobennosti nauchnogo turizma kak samostoiatel'nogo vida turizma [Features of scientific tourism as an independent type of tourism]. *Turizm i regionalnoe razvitie — Tourism and regional development*, 7, 36–40 [in Russian].
- 14 Molokacova, L. & Molokac, S. (2011). Scientific tourism—tourism in Science or Science in tourism. *Acta Geoturistica*, 2(1); 41-45.
- 15 Revilla, M.R.G. & Moure, O.M. (2017). Turismo científico y ciudades del future. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, 3(1); 123-130.
- 16 Rasporiazhenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 20.09.2019 goda № 2129–r «Ob utverzhdenii “Strategii razvitiia turizma v Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda ”» [Order of the Government of the Russian Federation from 20.09.2019 N 2129-r “On approval of the “Strategy for the development of tourism in the Russian Federation for the period until 2035”]. Retrieved from <https://www.consultant.ru/> [in Russian].
- 17 Krylova, E.A. (2018). Nauchnyi turizm kak odna iz form nauchnoi diplomatii Rossii [Scientific tourism as a form of scientific diplomacy in Russia]. *Alleia nauki — Scientific alleys*, 1(2), 18 [in Russian].
- 18 Nauka v Sibiri. Nauchno-populiarnyi turizm glazami nauchnykh kommunikatorov [Science in Siberia. Scientific and popular tourism through the eyes of science communicators]. Retrieved from <https://www.sbras.info/articles/mneniya/nauchno-populyarnyy-turizm-glazami-nauchnykh-kommunikatorov> [in Russian].
- 19 Ponomareva, I.Yu. & Savinov, V.Yu. (2022). Istoricheskie predposylki razvitiia nauchno-populiarnogo turizma v Tulskei oblasti [Historical prerequisites for the development of scientific and popular tourism in the Tula region]. *Rossiiskie regiony: vzgliad na budushchee — Russian regions: a glimpse into the future*, 9(3–4), 64–73 [in Russian].
- 20 Chernykh, D.V. & Lubenets, L.F. (2022). Poznanie landshafta — neisчерpaemyi resurs dlia ekologicheskogo turizma (razmyshleniia na materiale Tigirek'skogo zapovednika) [Landscape knowledge — inexhaustible resource for ecological tourism (reflections on the Tigirek'sky Reserve)]. *Ekologicheskii turizm: sovremennye vektory razvitiia — Ecological tourism: modern vectors of development*. Ekaterinburg: Uralskii gosudarstvennyi pedagogicheskii universitet, 80–86 [in Russian].
- 21 Chernyshenko, D. V Rossii startuet Programma nauchno-populiarnogo turizma dlia molodezhi [A program of popular science tourism for young people is launched in Russia]. Retrieved from <http://government.ru/news/46998/> [in Russian].
- 22 Krylova, E.A. (2022). Nauchno-populiarnyi turizm kak novoe turisticheckoe napravlenie v ekonomike Rossii [Scientific and popular tourism as a new tourist destination in the Russian economy]. *Kreativnaia ekonomika — Creative economy*, 16 (5), 1829–1848 [in Russian].
- 23 Malykh, E.S. & Smetanina, A.I. (2023). Perspektivy razvitiia nauchno-populiarnogo turizma v Kirovskoi oblasti [Prospects for the development of scientific and popular tourism in the Kirov region]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova. Serii Nauki o Zemle — Bulletin of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. Earth Sciences Series*, 2, 114–118 [in Russian].

- 24 Morse, M.A. (1997). All the World's a Field: A History of the Scientific Study Tour. *Progress in tourism and hospitality research*, 3; 257–269. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1603\(199709\)3:3<257::AID-PROG1099-1603\(199709\)3:3;1-0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1603(199709)3:3<257::AID-PROG1099-1603(199709)3:3<257::AID-PROG1099-1603(199709)3:3;1-0.CO;2-1).
- 25 Laarman, J.G. & Perdue, R.R. (1989). Tropical science and tourism. The case of OTS in Costa Rica. *Tourism Management*, 10(1); 29–38. [https://doi.org/10.1016/0261-5177\(89\)90032-0](https://doi.org/10.1016/0261-5177(89)90032-0).
- 26 Laarman, J.G. & Perdue, R.R. (1989). Science tourism in Costa Rica. *Annals of Tourism Research*, 16(2); 205–215. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(89\)90068-6](https://doi.org/10.1016/0160-7383(89)90068-6).
- 27 Guo, W., Wu, D.F., Li, Y., Wang, F.X., Ye, Y.Q., Lin, H.W., & Zhang, C.F. (2022). Suitability evaluation of popular science tourism sites in university towns: case study of guangzhou university town. *Sustainability*, 14(4); 2296.
- 28 Ivanova, R.N. (2012). Soderzhanie i obekty nauchnogo turizma v Yakutii [Content and objects of scientific tourism in Yakutia]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta imeni M.K. Ammosova — Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov*, 9 (2), 73–77 [in Russian].
- 29 Pakhomova, O.M. (2016). Nauchnyi turizm kak odno iz perspektivnykh napravlenii vnutrennego turizma Rossii [Scientific tourism as one of the promising directions of domestic tourism in Russia]. *Novaia nauka: strategii i vektory razvitiia — The New Science: Strategies and Vectors of Development*, 11, 99–102 [in Russian].
- 30 Andreev, G.A., Kolesnikov, R.A., & Rozhkovskii, E.V. (2020). Stanovlenie arkticheskogo ekologicheskogo volonterstva v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge i puti ego razvitiia [Establishment of Arctic environmental volunteering in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug and ways of its development]. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga — Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, 4 (109), 4–13 [in Russian].
- 31 Loktev, R.I. & Morgun, E.N. (2019). Etnokulturnyi turizm v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge: sovremennoe sostoianie i perspektivy [Ethno-cultural tourism in the Yamal-Nenets Autonomous district: current state and prospects]. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga — Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, 1, 132–140 [in Russian].
- 32 Chernykh, D.V., Zolotov, D.V., Biriukov, R.Yu., Kolesnikov, R.A., & Pechkin, A.S. (2022). Katenarnaia differentsiatsiia geosistem Nadymskikh sopok (Yamalo-Nenetskii avtonomnyi okrug) [Catenary differentiation of geosystems of the Nadym sopices (Yamal-Nenets Autonomous District)]. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga — Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, 3 (116), 80–96 [in Russian].
- 33 Chernykh, D.V., Zolotov, D.V., Biriukov, R.Yu., Kolesnikov, R.A., & Pechkin, A.S. (2023). Katenarnaia differentsiatsiia landshaftov v lesotundre Tazovskogo poluoostrova (Yamalo-Nenetskii avtonomnyi okrug, Rossiia) [Catenary landscape differentiation in the forest tundra of the Tazovsky Peninsula (Yamal-Nenets Autonomous District, Russia)]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy landshaftnoi geografii — Theoretical and applied problems of landscape geography*. Voronezh, 175–177 [in Russian].
- 34 Kolesnikov, R., Tupakhina, O., Tupakhin, D., & Plekhanova, L. (2022). Stratigraphy and geoarchaeology of the multilayer settlement of Yamgort-I in the subarctic zone of Western Siberia. *Relacoes Internacionais no Mundo Atual*, 4(37); 884-899
- 35 Kolesnikov, R.A. & Loktev, R.I. (2015). Analiz razvitiia turizma v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge i ego vliianie na sotsialno-ekonomicheskoe razvitiie regiona [Analysis of tourism development in the Yamal-Nenets Autonomous District and its impact on the socio-economic development of the region]. *Yamalskii vestnik — Yamal Bulletin*, 2(3); 64–69 [in Russian].
- 36 Kolesnikov, R.A. & Loktev, R.I. (2019). Turizm kak odin iz elementov diversifikatsii ekonomiki Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga [Tourism as one of the elements of economic diversification of the Yamal-Nenets Autonomous District]. *Geografiia i prirodnye resursy — Geography and natural resources*, 4 (158), 184–192 [in Russian].
- 37 Loktev, R.I., Kolesnikov, R.A., Sinitskii, A.I., & Morgun, E.N. (2018). Gornye priiuty Poliarnogo Urala kak obekt rekreatsii i element razvitiia turistskoi deiatelnosti v Arktike [Mountain shelters of the Polar Ural as a recreation object and an element of tourism development in the Arctic]. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga — Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, 1 (98), 40–46 [in Russian].

Information about authors

Loktev, Rostislav Igorevich — Researcher of the Geocology Sector, State Autonomous Institution of Yamal-Nenets Autonomous Okrug “Scientific Center for Arctic Research”, Salekhard, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia; rost.lok@mail.ru;

Kolesnikov, Roman Aleksandrovich — Candidate of geographical sciences, Leading Researcher of Geocology Sector, State Autonomous Institution of Yamal-Nenets Autonomous Okrug “Scientific Center for Arctic Research”, Salekhard, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia; roman387@mail.ru;

Chernykh, Dmitry Vladimirovich — Doctor of geographical sciences, Docent, Main Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Professor of Altai State University, Barnaul, Altai Krai, Russia; chernykhd@mail.ru.

А.Л. Овсянникова^{1*}, О.С. Андреева¹, Н.Т. Егорова¹, Д.В. Черных^{2,3}

¹Кузбасский гуманитарно-педагогический институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», Новокузнецк, Россия;

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия;

³Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

*Автор для корреспонденции: rapnaru.san@mail.ru

Периодизация формирования города Новокузнецка на основе ландшафтного подхода

В статье рассмотрены природные условия территории, в пределах которой формировался будущий город Новокузнецк. Отмечено, что природная основа предопределила характер строительства, отражающий специфику ландшафта. Строительство города началось с заложения на высоком правом берегу Кузнецкого острога и дальнейшего его расширения на правобережье, представленное широкой пойменной зоной. Авторы представили результаты ретроспективного анализа последовательности строительства города, который позволил выделить этапы и периоды формирования архитектурно-планировочной структуры Новокузнецка с учетом ландшафтной основы. Первым определен до-городской этап с периодами археологическим и освоения Сибири. Основными особенностями этого этапа являются освоение древними городищами обособленных ландшафтов вдоль речных артерий и строительство острожно-крепостных фортпостов и притрактовых сел. Следующим определен городской этап с периодами формирования исторического ядра, освоения ближнего заречья, освоения дальнего заречья, освоения междуречья, освоения территории от ядра агломерации вдоль урбанизированного каркаса. Основными особенностями данного этапа установлены заложение будущего Казачьего форштадта, оформление его и освоение правобережной зоны будущего города, строительство Верхней и Нижней колонии, «Садгорода» и «Соцгорода», формирование городской агломерации и окружающего его лесопаркового зеленого пояса. Показана ретроспектива городских исторических планов выделенных этапов и периодов строительства с представленными селитебными и природными ландшафтами. Дана современная характеристика шести административных образований Новокузнецкого городского округа с учетом ландшафтной специфики их территорий.

Ключевые слова: Новокузнецкий городской округ, исторические планы Новокузнецка, этапы и периоды освоения города, городские ландшафты, лесопарковый зеленый пояс.

Введение

Природная среда является важнейшей составной частью города, поэтому вопросы изучения городских ландшафтов, в том числе в контексте истории трансформации природных ландшафтных обстановок, всегда будут актуальными. Изучением ландшафтов города Новокузнецка занимались И.А. Жуков, С.Д. Тивяков, Г.А. Шеметов и другие. Важные краеведческие исследования освоения территории Новокузнецкого городского округа проведены учеными-историками П.П. Лизогуб и Ю.В. Шириним. В целом в Кузбассе проблема периодизации формирования городов области с теми или иными аспектами проработана слабо.

Ландшафтный подход в градостроительстве выражается, прежде всего, в том, что природная среда и ее комплексы являются важнейшими составляющими архитектурно-планировочной структуры города, которую необходимо охранять (если сохранились природные комплексы) или воссоздавать рукотворные ландшафтно-градостроительные структуры [1]. Город Новокузнецк, являясь индустриальным моногородом (специализация черная и цветная металлургия), в той или иной степени сохраняет природное окружение, которое характеризуется набором природных, природно-антропогенных, селитебных и промышленных ландшафтов.

Основная цель исследования — проследить историю формирования города Новокузнецка в контексте последовательной трансформации природных ландшафтов.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных для исследования были задействованы архивные материалы Новокузнецкого краеведческого музея и музея-заповедника «Кузнецкая крепость», картографические ис-

точники, архивные чертежи и планы XIX в., спутниковые снимки, полевые исследования авторов. В основе исследования лежат методы ретроспективного анализа и картографический метод.

Результаты и обсуждения

Формирование города Новокузнецка происходило в пределах долины р. Томь, составными частями которой являются широкая пойма, комплекс надпойменных террас, подножие и склон коренного борта. Долина окаймлена невысокими грядами Соколиных и Старцевых гор, массивом горы Маяковой и др. Положение на границе лесостепной и горно-таежной зон, а также повышенный гидроморфизм территории, способствовали формированию разнообразного растительного покрова. Изначально пойменные ландшафты были заняты заливными лугами, кустарниковыми зарослями с крупными заболоченными участками (согра). Надпойменные террасы, склоны и водоразделы включали фрагменты луговых, степных и таежных формаций.

Ретроспективный анализ исторических планов города Новокузнецка позволил определить основные исторические этапы формирования и развития планировочной структуры города [2]:

1. Освоение природного каркаса («фиксация золотых точек рельефа» древними стоянками, селищами, городищами, могильниками) — до-городской этап.

2. Формирование историко-культурного и урбанизированного планировочного каркаса (создание антропогенного ландшафта на основе регулярной планировки) — городской этап.

1. *До-городской этап развития* территории (освоение природного каркаса) включает в себя следующие периоды:

1.1. Археологический период (древний, культурный слой освоения территории с фиксацией «золотых точек» ландшафта).

1.2. Период освоения Сибири (до-регулярная планировочная система в виде линейных поселений).

Археологический период выделяется с древних времен освоения до начала XVII в. Градостроительная роль археологического периода: освоение древними селищами и городищами наиболее выделяющихся ландшафтов вдоль речных бровок рельефа с фиксацией устьев малых рек.

Наиболее востребованным элементом ландшафта выступает правый коренной берег реки Томь. Здесь обнаружены многочисленные древние поселения: Городище Маяк, Усть-Абинский могильники другие.

Период освоения Сибири охватывает начало XVII–конец XIX вв., включает освоение Томского бассейна: строительство в конце XVI–начале XVII вв. государственных острожно-крепостных фортификационных сооружений (Верхотомский, Кузнецкий остроги), и образование под их защитой притрактовых сел (Кийское). Градостроительная роль данного периода заключается в освоении природного каркаса с организацией первичной порядковой структуры вдоль речной системы. Характерная схема освоения «линии» / формирование линейных «порядков» вдоль рек.

2. *Городской этап развития* территории (формирование историко-культурного и урбанизированного каркаса) состоит из 5 периодов.

2.1. 1890–1910 гг. — время формирования исторического ядра г. Кузнецка в правобережье. Происходит освоение участков междуречья рек Томь–Картас–Казачья Грязь (между большой рекой — Томью и малой рекой — Картас, при ландшафтном ограничении с северо-запада Крепостной горой), регулярная планировка центра, появляется первый планировочный модуль. Застройкой охватывается не только правый коренной берег, но и зона надпойменных террас и высокой поймы (появились первые элементы застройки будущего Казачьего форштадта и пристани на Иванцевской протоке). В настоящее время эта территория входит в состав Кузнецкого района и совмещает элементы природных, селитебных и промышленных ландшафтов (рис. 1).

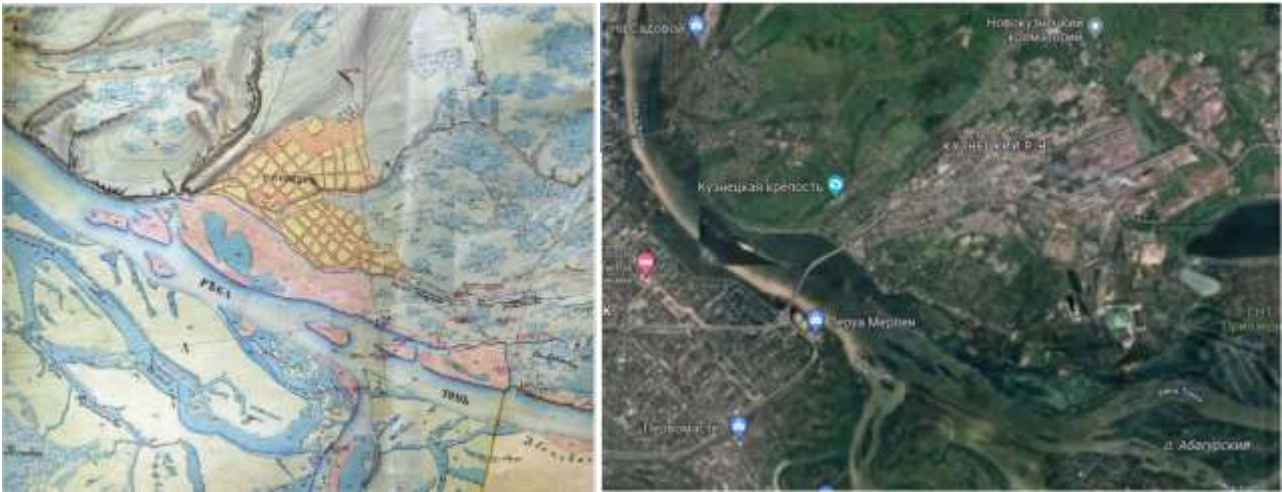


Рисунок 1. План Кузнецкого округа Томской губернии, 1897 г. [3] и соответствующая данной территории современная спутниковая карта [4]

Ландшафты заливных лугов с высокотравьем в левобережье р. Томь (рис. 2) использовались в качестве естественных сенокосных угодий [2]. Итогом данного периода стало заложение градоформирующих элементов города Кузнецка: Кузнецкая крепость, Казачий форштадт. Характерная схема освоения территории города в этот период — «сектор» — каркасное освоение территории первого сектора — между большой и малой реками.



Рисунок 2. План арендных сенокосных участков, находящихся близ г. Кузнецка Томской губернии, 1890 г. [3]

2.2. 1910–1919 гг. — период освоения территорий за малыми преградами: ближнее заречье. Ближнее заречье включало оформившийся Казачий форштадт, занимающий пойму и правый коренной берег р. Томь. Осуществлялась регулярная планировка центра, осваивался второй планировочный модуль. Этот период освоения правобережной территории за малыми преградами включал освоение городской территории за малой рекой Картас, освоение городской территории в восточном направлении до линии малой речки Государевой (территория селитебных кварталов, промышленные территории); освоение территории междуречья р. Картас и р. Казачья (за рекой Казачьей — территория исторического района, Казачьего форштадта). Схема освоения — «полукольцо».

2.3. 1920–1949 гг. — период освоения территории дальнего заречья — за большой р. Томью (территория левобережья — Верхняя и Нижняя колонии, «Сад-город», «Соцгород»). Период характеризуется регулярной планировкой центра, а также появлением третьего планировочного модуля. Непосредственно в это время происходило освоение территории за большой рекой Томью — территории исторического левобережного района («Соцгород») и его дальнейшее постепенное развитие вдоль радиальных направлений: «Соцгород» — система радиальных направлений от градоформирующих функциональных центров между малой рекой Абой и рекой Кондомой. Схема освоения—«кольцо»—освоение «заречья» за большой рекой (рис. 3).



Рисунок 3. Карта Кузнецкого округа Сибирского края, 1926–1927 гг. [3]

В основу планировки города был положен проект приглашенного немецкого архитектора Эрнста Мая. Под застройку отводился участок, ограниченный с севера и запада рекой Абой, с юга — склонами горы у Садгорода, и с востока — Большим Моховым болотом (ныне Центральный и Куйбышевский районы). Были проведены мелиоративные и градотехнические мероприятия для подготовки Большого Мохового болота под строительство. Идет перепланировка города по Генеральному плану 1936 г., спроектированному Институтом «Горстройпроект» в г. Москве (архитекторы А.С. Смолицкий, Л.М. Букалова, И.С. Гуревич), которая предусматривала увеличение населения. Проектом было запланировано устройство центральной площади города и пробивка магистрали к р. Томь. В будущем планировалась постройка моста через р. Томь (рис. 3). Перепланировка по Генеральному плану 1948 г., разработанным Институтом «Гипрогор» в г. Москве (архитекторы Б.Е. Светличный, Г.М. Слепых), предусматривает освоение территории Мохового пойменного болота, которое было осуществлено во время следующего четвертого периода [5]. Сложная геометрическая конфигурация застройки обеспечила связь всех функциональных узлов с сохранением системы озелененных рекреаций.

2.4. С 1950 г. по 1990 г. — период освоения территории междуречья Заводского, Новоильинского, Орджоникидзевского районов (Абашево, Абагур). Происходило объединение пригородов вдоль большой реки Томи в единую городскую линию поречья (так называемое единое поречье) с акцентом на сохранность природных ландшафтов между ядрами поселений. На данном этапе происходит уплотнение и перепланировка центра, появление микрорайонного модуля. Перепланировка центра включала засыпку Большого Мохового болота в 1950–60-х гг. Проводились работы по перемещению грунта по пульпопроводу с левого на правый берег р. Томь для засыпки заболоченных территорий (территория современных 1-й городской больницы и Городского парка им. Ю.А. Гагарина в Центральном районе). Объем работ составил 7 млн м³ перемещенного грунта. Период также характеризуется освоением территории Новоильинского междуречья и территорий Заводского, Орджоникидзевского районов. Одними из приоритетных направлений градостроительства в этот период являются: фундаментальное развитие города вдоль большой р. Томь и трактовой дороги на Барнаул; дальней-

шее развитие исторического правобережного района города вдоль линейного направления железнодорожной линии. Схема освоения вновь «линия»—единый «линейный порядок» вдоль большой реки.

В послевоенный период значительное внимание занимает решение проблемы силуэта застройки города. Жилой дом стал использоваться в качестве активного градостроительного элемента. При застройке уделяется внимание расположению домов в кварталах с учетом ориентации по сторонам света и сохранностью естественных природных элементов. При застройке центрального района города были проведены работы по спрямлению русла р. Аба.

В 1959 г. А.Н. Черданцевым, Б.А. Ябчанником и Б.О. Юртиным был выполнен проект планировки Нижне-Островской площадки и соседствующей с ней лесопарковой зоны. Верхняя терраса, примыкающая к лесопарку, была застроена 2–3-этажными домами. Одновременно архитекторы Б.А. Жеребятьев и Г.Н. Туманник спроектировали Ильинский жилой район, в котором кварталы неправильной формы, связанные зелеными территориями, располагались компактно и обеспечивали хорошую связь с окружающей природной средой [6].

2.5. 1991 г.—настоящее время — радиально-лучевое освоение территории от ядра городской агломерации. Период характеризуется присоединением территорий Новокузнецкого муниципального района и становления города Новокузнецка как ядра Южно-Кузбасской агломерации. Децентрализованная планировочная структура — формирование автономных подцентров в каждом районе. Схема освоения—«лучевая система»—радиальное освоение территории вдоль каркаса агломерации.

Новое строительство намечается частично на свободных, частично на реконструируемых территориях. Зона индивидуальной (усадебной и коттеджной застройки) с минимальным ущербом охватывает природное окружение и включает в себя существующую сохраняемую и новую усадебную застройку. Зона размещается преимущественно в южном направлении от центра города. Расширяется территория города и устанавливается статус Новокузнецкого городского округа, обсуждается создание лесопаркового зеленого пояса (рис. 4). Постановлением Законодательного собрания Кемеровской области — Кузбасса от 23 сентября 2020 г. принято Решение «О создании лесопаркового зеленого пояса Новокузнецкого городского округа и о его площади» [7].

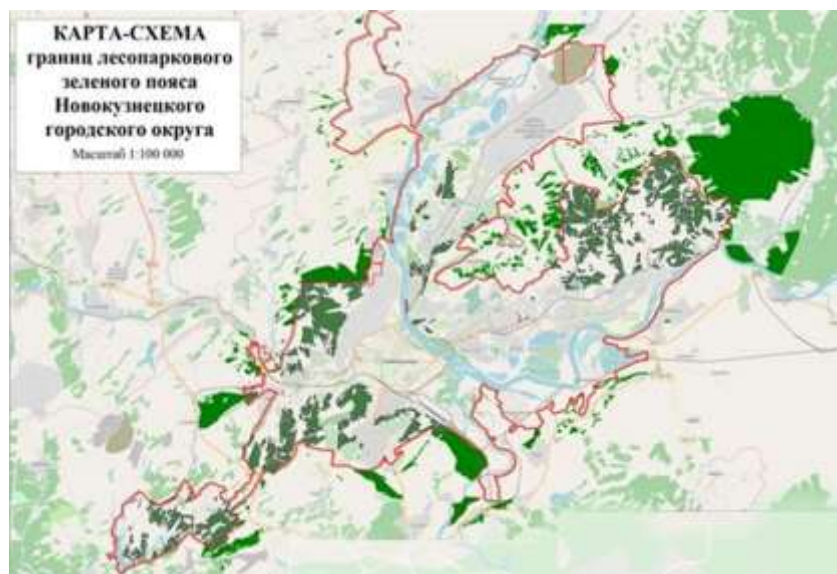


Рисунок 4. Карта-схема границ лесопаркового зеленого пояса Новокузнецкого городского округа, 2020 г. [8]

Подводя итог периодизации формирования города Новокузнецка, в соответствии с изученными схемами освоения, можно обозначить каждый период условными наименованиями: «точка», «линия», «сектор», «полукольцо», «кольцо», «линейная система» и «лучевая система».

В настоящее время типологический анализ застройки города позволил дать характеристику шести районам по типам, характеру застройки и рекреационным зонам.

Кузнецкий район города сохранил фрагменты характерной застройки традиционной деревянной архитектуры, сконцентрированной на подгорной территории (нижняя часть склона и подножие коренного борта). Современная селитебная территория представлена жилыми застройками и промыш-

ленными территориями Новокузнецкого алюминиевого завода, завода «Кузнецкие ферросплавы» и Кузнецкой ТЭЦ. Рекреационные природные ландшафты достаточно ограничены и представлены двумя большими скверами и городской пляжной зоной правого берега р. Томь. Для экологического просвещения жителей города и обучающихся разработана и действует около 20 лет Кузнецкая экологическая тропа по правому борту вдоль берега р. Томь. На экологической тропе в качестве экскурсионных объектов выбраны фрагменты типичного степно-лугового ландшафта Кузнецкой котловины, эталонный разрез черноземов и уникальная формация черного тополя (осоколя).

Орджоникидзевский район имеет локальные, разрозненные комплексы типовой застройки советского периода. Характеризуется большим присутствием природных и природно-антропогенных ландшафтов, типичных для южной части Кузнецкой котловины.

Центральный район наиболее полно представлен плотной комплексной застройкой советского периода, в основном ведущейся по диагональным магистральным проспектам города и поперечным улицам. В пределах района представлены 2 большие парковые зоны, более 10-ти скверов и бульваров. Существенную территорию занимают промышленные территории бывшего Кузнецкого металлургического комбината (ныне «ЕВРАЗ–ЗСМК»).

Куйбышевский район имеет сохранившиеся локальные участки с комплексной застройкой советского периода, промышленные территории шахты им. Г. Димитрова и ведомственная территория узловой железнодорожной станции Новокузнецк Западно-Сибирской железной дороги.

Заводской район по архитектурным и структурным элементам имеет много общего с Куйбышевским районом, так как основная территория представлена селитебными ландшафтами, в которые вкраплены небольшие по площади природные ландшафты с небольшим набором скверов и бульваров. Значительную часть района занимают промышленные ландшафты («ЕВРАЗ–ЗСМК»).

Новоильинский район является самым молодым, зеленым и территориально отдаленным районом города. Здесь присутствуют спальные районы и жилищная инфраструктура, вплетенные в природный ландшафт местности. Характеризуется отсутствием промышленных ландшафтов.

Каждый из административных районов Новокузнецка имеет свой набор градостроительных элементов, которые перемежаются с парками, скверами, природными зонами в границах города и опоясывающим его лесопарковым зеленым поясом.

Заключение

Современный город Новокузнецк, расположенный в долине крупной реки Томь в месте слияния её с реками Кондома и Аба, в своем первоначальном обустройстве четко следовал специфике ландшафта, когда на высоком правом берегу был заложен Кузнецкий острог. Далее при расширении города и его стесненности на правобережье основная зона строительства была смещена на левобережье, представленное широкой пойменной зоной. Это потребовало крупных мелиоративных работ и гидрогеологических изысканий для дальнейшего обустройства будущего центра города. Таким образом, историческая застройка г. Новокузнецка представлена, с одной стороны, традиционной архитектурой XVIII–начала XX вв., сконцентрированной на правом берегу р. Томь, с другой — комплексной плотной застройкой советского и современного периодов, сосредоточенной на левобережье. Архитектурное устройство города не однородно, что было обусловлено топографическими условиями разобщенности территории и необходимостью сохранности природных комплексов, характером и последовательностью строительства. Проведенный анализ позволил выделить 5 периодов формирования города Новокузнецка с учетом ландшафтной структуры территории.

Исследование частично проведено в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

Список литературы

1 Кочуров Б.И. Ландшафтный подход в градостроительном проектировании / Б.И. Кочуров, Ю.А. Хазиахметова, И.В. Ивашкина, Е.А. Сукманова // Юг России: экология, развитие. — 2018. — № 3. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/landshaftnyy-podhod-v-gradostroitelnom-proektirovanii>

2 Егорова Н.Т. Градостроительное развитие территории города Новокузнецка / Н.Т. Егорова, А.В. Федотова // Природа и экономика Кемеровской области и сопредельных территорий: материалы Всерос. науч. конф. — Новокузнецк: Кузбас. гос. пед. акад., 2013. — С. 113–120.

- 3 Кузнецк в истории России. Атлас. XVII–начало XX века / сост. В.Б. Бородаев, Н.А. Кузнецов, П.П. Лизогуб, Ю.В. Ширин. — Томск; Новокузнецк: Изд-во Том. ун-та, 2018. — 80 с.
- 4 Google Карты. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.google.ru/maps/@53.7454982,87.1129699,8850m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- 5 Об утверждении Генерального плана города Новокузнецка. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kgzrnk.ru/>
- 6 Журавков Ю.М. Как строился Новый Кузнецк: История районов города: архитектура и благоустройство / Ю.М. Журавков. — Новокузнецк, 1998. — 99 с.
- 7 Постановление Законодательного собрания Кемеровской области — Кузбасса от 23 сентября 2020 г. № 1305 «О создании лесопаркового зеленого пояса Новокузнецкого городского округа и о его площади». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/570945570>
- 8 Департамент лесного комплекса Кузбасса. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://kemles.ru/deyatelnost/lesoparkovye-zelenye-poyasa/perechen-lesoparkovykh-zelenykh-poyasov.php>

А.Л. Овсянникова, О.С. Андреева, Н.Т. Егорова, Д.В. Черных

Ландшафтық тәсіл негізінде Новокузнецк қаласының қалыптасуын кезеңдеу

Мақалада болашақ Новокузнецк қаласы қалыптасқан аумақтың табиғи жағдайлары қарастырылған. Табиғи негіз ландшафтың ерекшелігін көрсететін құрылыстың сипатын алдын ала анықтағаны атап өтілді. Қаланың құрылысы Кузнецк бекінісінің жоғары оң жағалауында қаланудан және оның кең жайылмалы аймақ болып табылатын оң жағалауының одан әрі кеңейтілуінен басталған. Сонымен қатар қала құрылысының бірізділігіне ретроспективті талдау көрсетілген, ол Новокузнецк сәулет-жоспарлау құрылымын қалыптастырудың кезеңдері мен мерзімдерін ландшафтық негізді ескере отырып, бөліп көрсетуге мүмкіндік берді. Бірінші Сібірдің археологиялық және игеру кезеңдерінен қалаға дейінгі кезең анықталды. Бұл кезеңнің негізгі ерекшеліктері көне қалалардың өзеннің күре жолы бойындағы дараланған ландшафтарды игеруі және бекініс-қорғаныс камалдар мен жол бойына ауылдарды салу болып табылады. Келесі кезең тарихи кезеңді қалыптастыру, яғни алыс және жақын өзеннің арғы бетіндегі жерді және өзен аралықтарын игеру, урбанизацияланған қарқас бойындағы агломерация өзегінен аумақты игеру кезеңдерімен анықталды. Бұл кезеңнің негізгі ерекшеліктері болашақ Казак ауданының негізінің қалануы, оны жобалау және болашақ қаланың оң жағалау аймағының игерілуі, жоғарғы және төменгі қоныстанушылардың құрылысы, «Сад-города» және «Соцгород», қалалық агломерацияны және оны қоршап тұрған орман-сайбақ жасыл белдеуін қалыптастыру болып табылады. Белгіленген кезеңдер мен құрылыс кезеңдерінің қалалық тарихи жоспарларының ретроспективасы көрсетілген қоныстану және табиғи ландшафтармен берілген. Олардың аумақтарының ландшафтық ерекшеліктерін ескере отырып, Новокузнецк қалалық округінің алты әкімшілік құрылымына заманауи сипаттама жасалған.

Кілт сөздер: Новокузнецк қалалық округі, Новокузнецккінің тарихи жоспарлары, қаланы игеру кезеңдері мен мерзімдері, қалалық ландшафтар, орман-сайбақ жасыл белдеуі.

A.L. Ovsyannikova, O.S. Andreeva, N.T. Egorova, D.V. Chernykh

Periodization of Novokuznetsk city formation on the basis of landscape approach

This article considers the natural conditions of the territory within which the future city of Novokuznetsk was formed. It is noted that the natural basis predetermined the character of construction reflecting the specificity of the landscape. The construction of the city began with the foundation on the high right bank of the Kuznetsk ostrog and its further expansion on the right bank, represented by a wide floodplain zone. The article shows a retrospective analysis of the sequence of the city construction, which allowed to identify stages and periods of formation of the architectural and planning structure of Novokuznetsk taking into account the landscape basis. The pre-city stage with the periods of archeological and Siberian exploration is defined first. The main features of this stage are the development by ancient settlements of isolated landscapes along the river arteries and the construction of fortified outposts and roadside villages. The urban stage with the periods of formation of the historical core, development of the near river basin, development of the far river basin, development of the inter-river basin, development of the territory from the agglomeration core along the urbanized frame is defined as the next one. The main features of this stage are the foundation of the future Cossack forstadt, its design and development of the right bank zone of the future city, the construction of the Upper and Lower Colony, “Garden City” and “Social City”, the formation of urban agglomeration and the surrounding forest and park green belt. The retrospective of the urban historical plans of the highlighted stages and periods of construction with represented residential and natural landscapes is shown. The modern characteristic of six administrative formations of Novokuznetsk Urban District is given, taking into account the landscape specifics of their territories.

Keywords: Novokuznetsk urban district, historical plans of Novokuznetsk, stages and periods of city development, urban landscapes, forest and park green belt.

References

- 1 Kochurov, B.I., Khaziakhmetova, Yu.A., Ivashkina, I.V., & Sukmanova, E.A. (2018). Landshaftnyi podkhod v gradostroitelnom proektirovanii [Landscape approach in urban planning]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye — South of Russia: ecology, development*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/landshaftnyy-podhod-v-gradostroitelnom-proektirovanii>, 3 [in Russian].
- 2 Egorova, N.T. & Fedotova, A.V. (2013). Gradostroitelnoe razvitiye territorii goroda Novokuznetska [Urban development of the territory of the city of Novokuznetsk]. *Priroda i ekonomika Kemerovskoi oblasti i sopredelnykh territorii: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii — Nature and economy of the Kemerovo region and adjacent territories: Proceedings of the All-Russian scientific conference*. Novokuznetsk: Kuzbasskaia gosudarstvennaia pedagogicheskaiia akademiia, 113–120 [in Russian].
- 3 Borodaev, V.B., Kuznetsov, N.A., Lisogub, P.P., & Shirin, Yu.V. (2018). *Kuznetsk v istorii Rossii. Atlas. XVII–nachalo XX veka [Kuznetsk in the history of Russia. Atlas. XVII — beginning of XX century]*. Tomsk; Novokuznetsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta [in Russian].
- 4 *Gugl Karty*. Retrieved from: <https://www.google.ru/maps/@53.7454982,87.1129699,8850m/data=!3m1!1e3?entry=ttu> [in Russian].
- 5 *Ob utverzhdenii Generalnogo plana goroda Novokuznetska [On approval of the general plan of the city of Novokuznetsk]*. Retrieved from <http://kgzrnk.ru/> [in Russian].
- 6 Zhuravkov, Yu.M. (1998). *Kak stroilsia Novyi Kuznetsk: Istoriia raionov goroda: arkhitektura i blagoustroistvo [How New Kuznetsk was built: History of the city districts: architecture and improvement]*. Novokuznetsk [in Russian].
- 7 (2020). *Postanovlenie Zakonodatel'nogo sobraniia Kemerovskoi oblasti — Kuzbassa ot 23 sentiabria 2020 goda № 1305 «O sozdanii lesoparkovogo zelenogo poiasa Novokuznetskogo gorodskogo okruga i o ego ploshchadi» [Resolution of the Legislative Assembly of the Kemerovo region — Kuzbass from 23 September 2020 N 1305 “On the creation of the forest-park green belt of Novokuznetsk urban district and its area”]*. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/570945570> [in Russian].
- 8 *Departament lesnogo kompleksa Kuzbassa [Department of Forestry Complex of Kuzbass]*. Retrieved from <https://kemles.ru/deyatelnost/lesoparkovye-zelenye-poyasa/perechen-lesoparkovykh-zelenykh-poyasov.php> [in Russian].

Information about authors

Ovsyannikova, Alina Leonidovna — Assistant of Department of Geo-ecology and Geography, Kuzbass Humanitarian and Pedagogical Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk, Russia; ranmaru.san@mail.ru;

Andreeva, Oxana Sergeevna — Candidate of geographical sciences, Docent of Department of Geo-ecology and Geography, Kuzbass Humanitarian and Pedagogical Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk, Russia; osa13-72@mail.ru;

Egorova, Natalya Timofeevna — Candidate of pedagogical sciences, Docent, Kuzbass Humanitarian and Pedagogical Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk, Russia; Egorovakuzgpa@yandex.ru;

Chernykh, Dmitry Vladimirovich — Doctor of geographical sciences, Docent, Main Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Professor of Altai State University, Barnaul, Altai Krai, Russia; chernykhd@mail.ru.

Г.Ю. Ямских*, Н.Ю. Жаринова, Д.Е. Макарчук, А.А. Валенкова

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Автор для корреспонденции: yamskikh@mail.ru*

Методы палеореконокструкций климатов и растительности голоцена (на примере Красноярской котловины)

В статье приведены геохимические исследования отложений в долине р. Березовка (Красноярская лесостепь), непрерывное накопление которых происходило с конца позднего плейстоцена и весь голоцен (начиная с 20833 ± 519 кал. лет назад). Определены характер и условия формирования отложений левобережной террасы р. Енисей Красноярской лесостепи на основе анализа общей характеристики и особенностей макроморфологического строения. Приведены данные детального геоботанического описания пробной площадки лесостепных ландшафтов территории Красноярской котловины, наименее подверженной антропогенному воздействию, и спорово-пыльцевых спектров (СПС) поверхностных проб для оценки отражения состава растительности в спектрах. Для установления достоверности полученных данных использован коэффициент Дэвиса, который дает возможность рассчитать отношение процентного содержания пыльцы вида в спектре к проценту участия этого вида в составе фитоценоза. Было установлено, что между составом растительного покрова лесостепных ландшафтов и составом спорово-пыльцевых спектров существует прямая корреляция, что дает возможность интерпретировать данные спорово-пыльцевого анализа для реконструкций палеоклиматов и палеоландшафтов голоцена. Представлены результаты малакофаунистического анализа разреза поймы р. Талая, заложенного в северо-западной части Красноярской котловины ($56^{\circ}29'$ с.ш., $93^{\circ}45'$ в.д., абсолютная высота — 213 м) на пойме правого берега одноименной реки, в 1 км на северо-восток от д. Талая.

Ключевые слова: палеогеография, голоцен, спорово-пыльцевой анализ, палеопедологический анализ, палеопочвоведение, малакофаунистический анализ, геохимия, Красноярская котловина.

Введение

В условиях современных климатических изменений и связанных с этих неопределенностей большое значение отводится вопросам прогнозирования природно-климатических условий будущего. Для решения данного вопроса необходимо понимание хода процессов прошлого, связанных с динамикой климатов и ландшафтов последней межледниковой эпохи — голоцена [1].

На территории Красноярской котловины в течение многих лет для реконструкций климатов и растительности широко используются палеогеографические методы — спорово-пыльцевой, малакофаунистический и педологический. Анализ их возможностей представлен в настоящей работе.

В условиях неопределенности одной из важнейших проблем является состояние природной среды, которое часто характеризуется исследователями как неустойчивое. Общеизвестно, что главными носителями информации об условиях окружающей среды являются осадочные горные породы. Их толщи содержат важные характеристики процессов литогенеза, действующих на земной поверхности и зависимых от климатических, биологических и геологических факторов. Почвы и коры выветривания характеризуются своим типом памяти и хранения информации. Почвенная память действует в любой точке земной поверхности, что является процессом общего взаимодействия факторов почвообразования. Эти факторы представлены климатом, материнской породой, рельефом и живыми организмами, взаимодействующими во времени. Основным носителем памяти является твердая фаза покрова, структура которой состоит из минеральных, органических и органоминеральных веществ [2].

Одним из методов при палеогеографических реконструкциях голоцена является малакофаунистический, метод применяется не так часто, несмотря на то, что малакофауна имеет широкое распространение и, преимущественно, хорошую сохранность [3]. На территории Красноярской котловины систематическое изучение раковин голоценовых моллюсков началось с 2010 года. Палеонтологический материал обнаружен преимущественно в толщах пойменных отложений малых рек — притоков р. Енисей.

Методы исследования

Для реконструкции древних ландшафтов производится исследование погребенных почв и их реликтовых признаков. Такой подход все более широко применяется в палеопочвоведении или историческом почвоведении [1, 4–6]. Ископаемые почвы располагаются практически везде, где действовали аккумулятивно-денудационные процессы накопления и перемещения осадочных пород.

Для исследования почв важно применение общих методов почвоведения, с помощью которых происходит определение морфологических и физико-химических свойств почв, отражающих общие закономерности развития, что позволяет восстановить факторы почвообразования, действующие в период формирования того или иного горизонта или профиля в целом.

Макроморфологическое описание разрезов проводилось по стандартной схеме полевого изучения почв и отложений, образцы отобраны в соответствии с методическими рекомендациями [7].

Элементный состав образцов (геохимия) был определен в Государственной высшей школе им. Папы Римского Иоанна Павла II (Польша).

Радиоуглеродное датирование образцов в разрезе Березовка–1 (IV) было произведено в Лаборатории изотопных исследований (Геологический центр коллективного пользования, кафедра геологии и геоэкологии географического факультета, Российский государственный педагогический университет им. Герцена, Санкт-Петербург). Калибровка радиоуглеродного возраста выполнена в программе OxCal 4.4 [8]. Даты представлены в калиброванных годах до настоящего времени (BP; 0 yr BP = 1950 AD), использовались значения 95,4 % вероятности. Верхняя дата, отражающая наиболее поздний (современный) период почвообразования, калибрована только в пределах 68,3 % вероятности.

При извлечении раковин моллюсков из отложений использовались общепринятые методики, описанные в работах V. Ložek [9], А.А. Стеклова [10], С.М. Поповой [11], S.W. Alexandrowicz [12] и S.W. Alexandrowicz, W.P. Alexandrowicz [13]. Оценка динамики седиментации исследуемых отложений наряду с малакоценологическими сведениями позволяют выделить компоненты танатоценоза и произвести достоверные палеогеографические реконструкции [3, 11, 14, 15].

Первоначально разрез следует тщательно исследовать с помощью лупы на наличие малакофауны. Отбор образцов объемом 8 дм³ осуществляется снизу-вверх через 5 см из зачищенных стенок шурфов. С целью извлечения раковин моллюсков образец породы замачивается в неглубокой чаше и кисточкой с мягким ворсом собираются всплывшие на поверхность экземпляры. Размокший образец промывается в металлических ситах с диаметром ячеек 0,1–0,25 мм и производится сбор всех целых раковин и их идентифицируемых фрагментов [12, 13]. Промытые и высушенные раковины помещаются в пластиковые контейнеры и документируются. В процессе роста моллюска его раковина приобретает совершенно определенные, свойственные данному виду морфологические и морфометрические особенности. Для установления видовой принадлежности моллюсков под бинокулярным микроскопом определяются следующие диагностические признаки: форма, цвет, размеры раковины; форма и размеры устья; структура и скульптура дефинитивных и эмбриональных оборотов.

Из многих функций, которые несет раковина наземных моллюсков — защита от врагов, от механических и химических воздействий, опоры для мускулатуры, терморегуляции и консервации влаги путем сведения до минимума потерь на испарение, особенно важна последняя. Адаптации раковины к выполнению этой функции весьма разнообразны. Они могут быть непосредственными, прямо обеспечивающими уменьшение потерь влаги, или сложными, облегчающими моллюску возможность совершения определенных действий, ведущих в итоге к достижению той же цели защиты. По этой причине при малакофаунистических исследованиях особенно важна оценка изменчивости морфологии раковин моллюсков. Для целых, сформированных раковин под бинокулярным микроскопом с точностью до 0,1 мм производятся следующие замеры: высота раковины (ВР), ширина раковины (ШР), высота устья (ВУ), ширина устья (ШУ), высота последнего оборота (ВПО), высота завитка (ВЗ) и рассчитываются коэффициенты ШР/ВР, ВЗ/ВР, ВПО/ВР, ВУ/ВР, ШУ/ВУ (рис. 1).

Результаты исследований многочисленных местонахождений моллюсков позволяют установить их видовой состав, распространение во времени и сформировать коллекции палеонтологического материала [16].

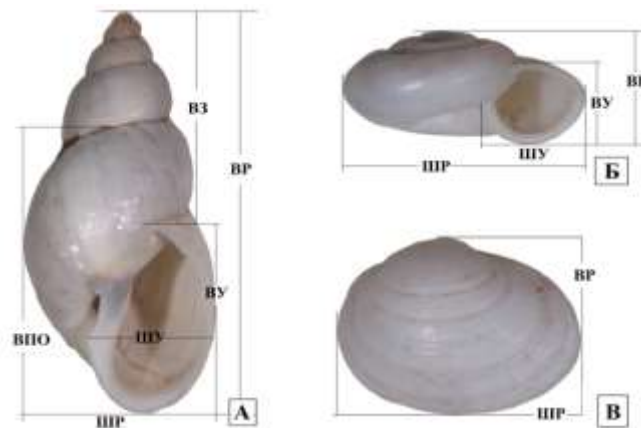


Рисунок 1. Схема основных промеров раковин: *A* — спирально-винтовых; *Б* — спирально-конических и спирально-плоскостных; *В* — двустворчатых раковин (*BP* — высота раковины; *ШП* — ширина раковины; *ВУ* — высота устья; *ШУ* — ширина устья; *ВПО* — высота последнего оборота; *ВЗ* — высота завитка)

При проведении малакофаунистического анализа необходимо правильно интерпретировать данные о видовом составе моллюсков и его изменении в толще исследуемых отложений. Для восстановления условий обитания и типов ландшафтов широко используют метод актуализма. Применительно к малакологии актуалистический подход состоит в анализе образа жизни и условий обитания современных моллюсков для реконструкций природной среды палеомалакофауны геологического прошлого. Определенная экологическая требовательность отдельных видов моллюсков и их групп позволяет выявить особенности растительности, степени увлажнения биотопов, химический и температурный режим водных экосистем [9, 12, 13, 17–21]. Так, например, устанавливается существенное различие видового состава фаун лесных и незалесенных ландшафтов, то есть идентифицируются локальные различия палеогеографических условий, что иными палеонтологическими методами, в частности спорово-пыльцевым анализом, сделать невозможно [9].

По причине отсутствия исследований современной малакофауны Красноярской лесостепи, экологическая приуроченность идентифицированных видов основывалась на материалах об условиях их обитания на территории других регионов Сибири со схожими климатическими условиями. Анализ этих данных показал, что виды моллюсков, встреченные в отложениях поймы р. Талая, соответствуют экологическим группам, которые предложены в экологических классификациях [9, 12, 22–24]. Среди наземной малакофауны определены пять групп, которые характерны для биотопов с различной степенью затенения и увлажнения. Пресноводные виды разделены на четыре группы по критериям постоянства водного объекта и характера течения. На основе использования статистических методов были выявлены малакофаунистические ассоциации и их последовательная смена в толще отложений [25].

Радиоуглеродное датирование отложений разреза «Талая» проводилось в Лаборатории археологической технологии Института истории материальной культуры РАН. Значения радиоуглеродного возраста откалиброваны с использованием программы CalPal [26].

Спорово-пыльцевой анализ позволяет выявлять региональную динамику климатических и ландшафтных изменений [27]. Степень насыщенности осадка пыльцой и спорами, видовой состав палиноспектров является надежными показателями реакции растительных сообществ на изменение состояния природной среды, обусловленное общими тенденциями развития климата. В связи с этим спорово-пыльцевые спектры дают надежную информацию о показателях климата и позволяют прогнозировать их изменение в будущем. Поскольку любой вид растений хоть и обитает в определенных благоприятных для него климатических границах, пыльцевая и споровая продуктивность растений, ее сохранность и способность к переносу и переотложению зависят в большой степени от местных условий [28].

Поэтому для каждого региона с различным набором ландшафтных зон необходимо разрабатывать оценочные критерии связей в системе «растительность настоящего–субрецентные палинологические пробы–фоссильные спорово-пыльцевые спектры».

На территории Красноярской котловины таких исследований было немного, поэтому в последние годы основное внимание исследователей и направлено на изучение поверхностных проб с одно-

временным геоботаническим изучением состава современной растительности в местах их отбора и выявления особенностей отражения состава современной растительности в спорово-пыльцевых спектрах субрецентных палинологических проб. Отбор поверхностных проб осуществлялся по стандартной методике [29].

Для учета основных закономерностей формирования спорово-пыльцевых спектров при их интерпретации часто применяются поправочные коэффициенты, которые позволяют перейти от процентного содержания компонентов спектра к процентному содержанию соответствующих растений в растительном покрове. Для выражения зависимости состава растительности в поверхностных СПС был применен коэффициент Дэвиса (K), рассчитывающийся как отношение процентного содержания пыльцы вида в спектре к проценту участия этого вида в составе фитоценоза [30]:

$$K=V/R,$$

где V — доля пыльцы таксона в спорово-пыльцевом спектре; R — объем участия таксона в растительном покрове.

K , равное 1, показывает равный процентный вклад вида растений в СПС и проективное покрытие своего высотного уровня.

$K > 1$ указывает на больший спорово-пыльцевой след, чем на присутствие растения в фитоценозе, что означает либо высокую спорово-пыльцевую продуктивность растений, либо указывает на дополнительное транзитное попадание спор и пыльцы с соседних территорий.

$K < 1$ указывает на низкий процент спор и пыльцы по отношению к обильной встречаемости растения в фитоценозе, что означает низкую сохранность спорово-пыльцевого материала, либо низкую спорово-пыльцевую продуктивность вида растений.

Ввиду того, что рассматриваемые величины вариативны в природной среде, незначительными отклонениями от значения 1 (равновеликие зависимости) следует пренебрегать, так как они находятся в зоне погрешности исследований. Однако следует учитывать, что данные по сопоставлению поверхностных спорово-пыльцевых спектров с составом фитоценозов могут быть эффективно использованы лишь в том случае, если они получены для каждого крупного физико-географического региона в результате изучения большого числа субрецентных спектров поверхностных проб.

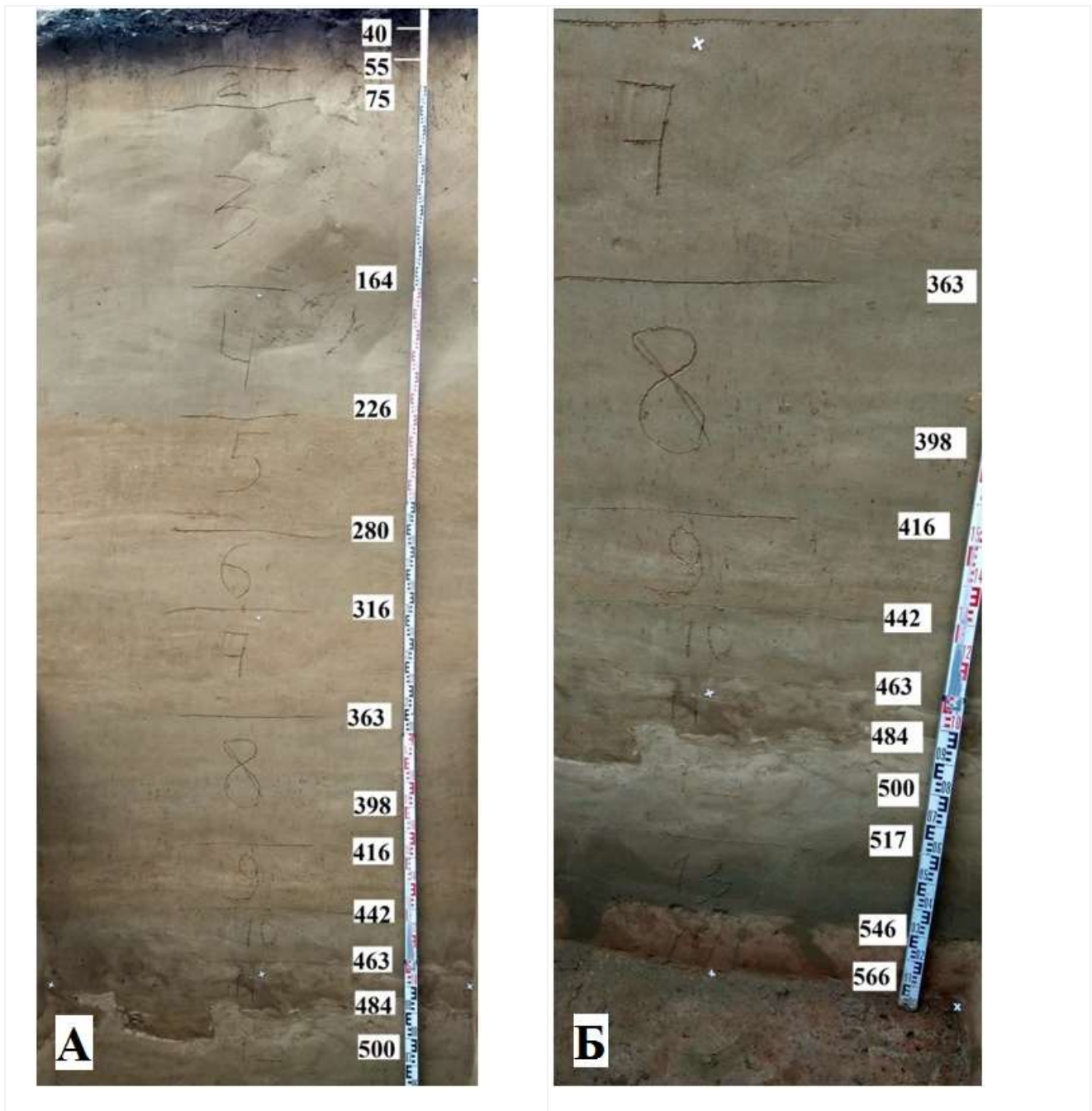
Результаты и обсуждение

Педологический анализ

Характеристики почв и рыхлых отложений на основе морфологического, геохимического, физико-химических анализов (в том числе гранулометрического состава, содержание общего углерода, карбонатов и т.д.) позволяют определить характер и условия формирования отложений, как на современном этапе, так и в более раннее время, установить типы природных процессов, оказывавших влияние на формирование ландшафтов территории исследования. Данные, полученные в результате изучения современных и палеопочв, отражают общие закономерности развития, что позволяет восстановить факторы почвообразования, действующие в период формирования того или иного горизонта или профиля в целом.

Методологической основой исследований почвенного тела при анализе памяти почв является иерархическое морфосубстантивное исследование твердофазного каркаса почв, основанное на детальном изучении морфологических признаков и состава почвы и ее компонентов. Морфология почвы — интегральный показатель всей истории развития почвы [31, 32].

На основе изучения морфологических признаков почв и рыхлых отложений возможно выявить современные процессы и природные условия прошлых эпох. В качестве примера подобных исследований можно привести результаты изучения отложений левобережной террасы р. Енисей Красноярской лесостепи. Здесь была выявлена полная стратиграфическая последовательность разреза, установлено формирование современной почвы — чернозема обыкновенного. Выделены три слаборазвитых погребенных почвенных профиля (рис. 2).



А — верхняя часть разреза; *Б* — нижняя часть разреза
 Рисунок 2. Строение отложений левобережной террасы Енисея (Красноярская лесостепь)

Проявление признаков солифлюкционных процессов и наличие мерзлотных клиньев свидетельствует о переувлажнении территории и мерзлотных процессах в финале позднего плейстоцена. Присутствие мелкой субгоризонтальной слоистости и мелкой гальки в отдельных горизонтах явилось признаком деятельности временных или слабых постоянных водотоков. Проявление сизого оттенка и железистых новообразований указало на наличие процесса оглеения. Были установлены гранулометрический состав и наличие карбонатов в профиле. Результаты морфологических исследований показали, что условия образования первого культурного горизонта (поверхность горизонта 75–164 см) и, соответственно, условия жизни древнего человека были приближены к современным лесостепным условиям. Второй культурный горизонт (поверхность горизонта 416–442 см) формировался в условиях переувлажнения и относительно пониженных температур, содержит остаточные проявления деятельности водотоков. Проведенное подробное морфологическое описание отложений имеет практическое значение для организации археологических исследований, а также для создания базы данных

о территориях, имеющих потенциал для развития научного туризма на территории юга Красноярского края [33]. Важным направлением в палеопочвоведении является изучение геохимии отложений и установление индикаторов изменения окружающей среды. Подобные геохимические исследования были проведены в долине р. Березовка на территории Красноярской лесостепи, где непрерывное накопление отложений происходило с конца позднего плейстоцена и весь голоцен (начиная с 20833 ± 519 кал. л. н.) [34].

Согласно В.В. Добровольскому [35], отношение Sr/Ba указывает на гидротермические условия осадконакопления, что подтверждается исследованиями на территории Западной Сибири, где показано, что величина отношения Sr/Ba в отложениях тесно связана с увлажнением климата [36]. Индикаторами потепления/похолодания климата могут выступать Co, Cu, Cr, Zn: в холодные периоды при наличии сезонноталого слоя Cu, Co, Cr, Zn выносятся более интенсивно, понижение значений коэффициентов маркирует наличие похолодания, и наоборот, что отмечается и для территории Восточной Сибири В.В. Ивановой [37]. На основе анализа величины палеомаркера Sr/Ba и индикаторов Cu, Co, Cr, Zn в долине р. Березовка было выявлено, что в позднем голоцене от интервала 291–151 cal. yr BP до современности климат был схож, в позднем голоцене (1241–803 кал. л. н.) и Среднем Голоцене (5477–4985 кал. л. н.) отмечается повышение увлажнения и потепление климата по сравнению с современным. В раннем голоцене (9005–8605 кал. л. н.) климат был более аридным и холодным. Значения палеомаркера для позднего плейстоцена свидетельствует о смене влажных и более теплых (13758–12930 кал. л. н.) на сухие и более холодные периоды в пределах 21352–20314 кал. л. н. (рис. 3). Использование данных палеомаркеров было целесообразно, поскольку полученные данные были подтверждены ранее проведенными палинологическими, литологическими исследованиями А.Ф. Ямских и Г.Ю. Ямских при комплексном изучении отложений 35–40 террасы р. Енисей на территории Красноярской котловины [38].

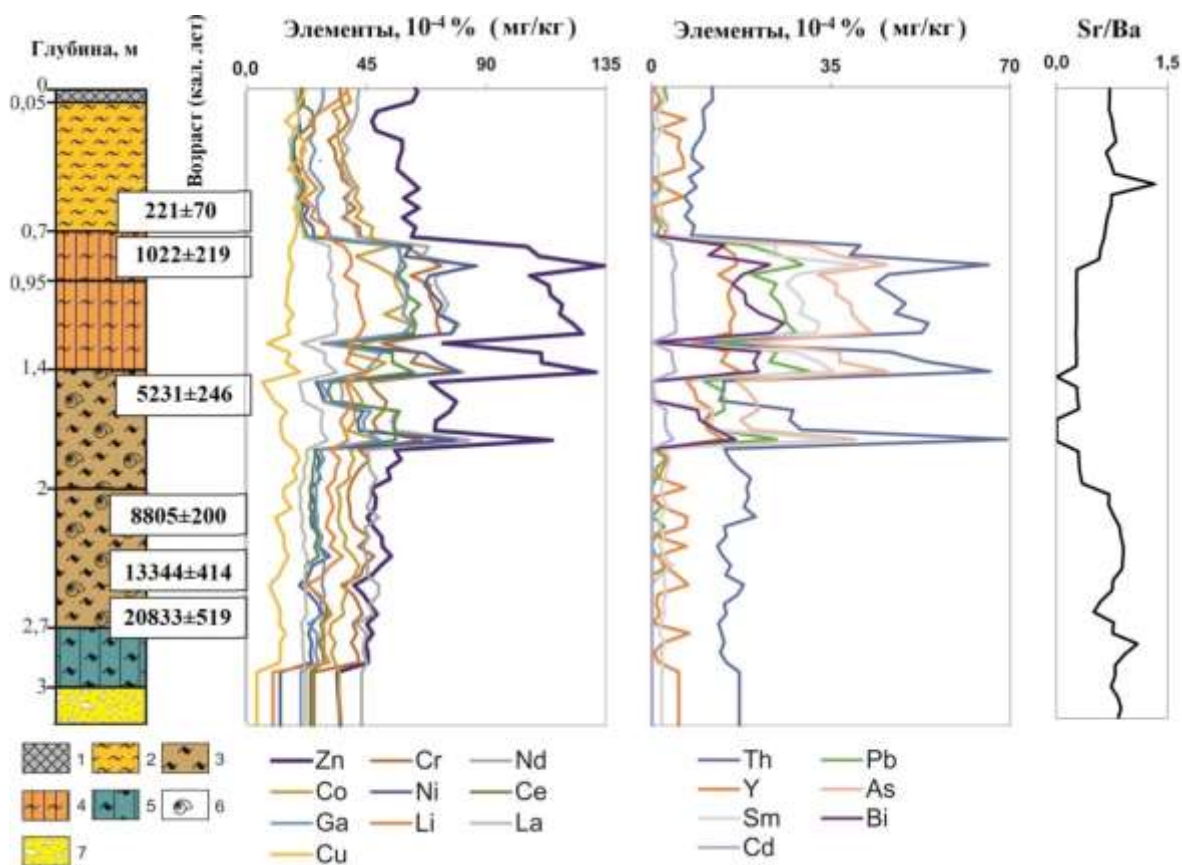


Рисунок 3. Распределение микроэлементов и Sr/Ba в разрезе Березовка1 (IV). Условные обозначения: 1 — дернина; 2 — суглинок легкий; 3 — суглинок тяжелый; 4 — глина; 5 — глина серо-голубого цвета; 6 — раковины моллюсков; 7 — песчано-галечные отложения

Таким образом, изучение почв (в том числе погребенных) и рыхлых отложений имеет большое фундаментальное значение и является важной составляющей исследований при реконструкции условий окружающей среды.

Спорово-пыльцевой анализ

В качестве примера на территории Красноярской котловины, где развита лесостепная растительность, для изучения был взят участок, расположенный в долине р. Базаиха — правого притока р. Енисей. Было сделано геоботаническое описание и изучены поверхностные пробы. Площадка Бз-1. Березово-черемухово-хвощово-кипрейный молодой лес на средней пойме р. Базаиха (рис. 4).



Рисунок 4. Площадка Бз-1, Березово-черемухово-хвощово-кипрейный молодой лес на средней пойме р. Базаиха

Древесный ярус образован березой повислой (*B. pendula*), формула древостоя 10Б, средняя высота яруса — 10 м, сомкнутость крон — 0,7. Хорошо развит подлесок из черемухи птичьей (*P. avium*), сомкнутость яруса — 0,2.

Травяной покров развит фрагментарно, доминантами выступают хвощ зимующий (*Equisetum hyemale*) и кипрей узколистный (*C. angustifolium*), много — белокопытника гладкого, тимофеевки луговой (*P. pratense*), обычны такие виды, как таволга вязолистная (*F. ulmaria*), клевер гибридный (*Trifolium hybridum* L.), вейник Лангсдорфа (*C. langsdorffii*), лютик северный (*R. subborealis*), черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris* L.), дудник лесной (*A. sylvestris*), хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), лопух войлочный (*A. tomentosum*), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus* L.), полынь обыкновенная (*A. vulgaris*), овсяница луговая (*F. pratensis*). Единично встречаются — льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.), фиалка удивительная (*Viola mirabilis* L.), люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.), горошек заборный (*V. sepium*), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), манжетка городковатая (*A. subcrenata*). Общее проективное покрытие яруса составляет 55 %. Мохово-лишайниковый покров не развит.

В спорово-пыльцевых спектрах лесостепной зоны отмечено много пыльцы травянистых — до 30–40 % в среднем, пыльца древесных незначительно на разных участках преобладает над травянистой, количество спор не превышает 20 %. Лесообразующими породами здесь являются сосна и береза, содержание их пыльцы в спорово-пыльцевых спектрах может достигать 60–70 %, количество пыльцы пихты и ели не более 10 % [39].

В общем составе СПС (спорово-пыльцевых спектров) в отобранных образцах пыльца древесных пород и кустарников составляет 59,5 %, пыльца травянистых — 32,4 %, спор — 8,1 %. В группе пыльцы древесных около половины приходится на *Betula sp.* (50,2 %), много *Pinus sylvestris* (28,05 %), затем идут *Abies sibirica* (9,55 %), *Picea obovata* (5,45 %), *Pinus sibirica* (2,5 %), *Alnus sp.* (4,35 %). ВСПС среди травна и большее содержание пыльцы семейств *Cyperaceae* (31,2 %), *Rosaceae* (21,8 %), *Ranunculaceae* (14–15 %), заметно участие *Artemisia sp.* (5,2 %) и *Chenopodiaceae* (4,9 %). Среди споровых господствует *Polypodiaceae* (50,7 %), *Lycopodium sp.* (5,4 %), *Equisetum* (2,6 %), *Selaginella* (1,25 %).

В описанном фитоценозе лесостепной зоны из древесных пород отмечается только береза. В составе СПС поверхностных проб отмечается участие всех основных древесных пород: *Betula sp.*, *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*.

Информативные материалы получены также при реконструкциях палеосреды жизни древнего человека в долине р. Енисей на археологической стоянке «Пещера Еленева». Послойное палинологическое изучение отложений с их радиоуглеродным датированием и использованием расчетных уравнений регрессии, позволило реконструировать климатические условия жизни древнего человека в голоцене.

Малакофаунистический анализ

Из толщи отложений в интервале глубин 1,2–0,4 м и 0,07–0 м были отобраны сохранившиеся остатки фауны моллюсков, максимальная концентрация которых зафиксирована на глубине 1,1–1,0 м. Отложения разреза характеризуются присутствием 6587 экземпляров раковин, которые принадле-

уменьшение или исчезновение некоторых видов вплоть до позднего голоцена. При наименьшем видовом разнообразии в сообществе преобладали виды открытых ландшафтов, доля которых составляла 55 % от общего числа раковин (в основном *Vallonia pulchella*). Мезофильные виды *Vertigo substriata* и *Nesovitrea petronella* увеличили численность до 12 %. В целом сильных изменений в видовом разнообразии не произошло. К существовавшим видам добавился *Punctum pygmaeum*, раковины которого встречены единично в одном образце. Со второй половины интервала вновь появился водно-болотный моллюск *Pupilla alpicola*, который стал постоянным компонентом малакофауны до середины позднего голоцена.

Конец среднего и начало позднего голоцена (интервал C). В конце среднего голоцена доля пресноводных видов снизилась до 12 %. Основной компонент этой фауны представляли моллюски, живущие в мелких или временных водоемах. Доля гидрофильных моллюсков увеличилась до 23 % от общего количества раковин. Также продолжает доминировать *Vallonia pulchella*, но в середине интервала ее численность резко сократилась. Это совпало с ростом числа раковин *Fruticicola schrenckii*, обитающего в залесенных биотопах. Небольшое присутствие раковин этого вида в период развития сообщества свидетельствует о локальном развитии древесного яруса. Наиболее заметная смена видового состава произошла на границе среднего и позднего голоцена, когда вновь появились водно-болотные моллюски *Vertigo antivertigo*, *V. cf. Kushiorensis botanicorum*, *V. cf. microsphaera* и влаголюбивые *Cochlicopa palustris* и *Nesovitrea hammonsi*. В конце интервала они исчезли полностью и заселили территорию снова только в конце голоцена. В начале позднего голоцена исчезли *Fruticicola schrenckii*, *Vertigo pygmaea* и *Vallonia pulchella* восстановила численность. Более многочисленными стали и представители временных водоемов.

В середине позднего голоцена (интервал D) продолжился рост численности пресноводных и наземных видов. При этом видовое разнообразие наземных моллюсков уменьшилось практически в два раза по сравнению со средним голоценом. Исчезли мезофильные виды и *Carychium minimum* около 1810 л.н. при все еще высокой численности водно-болотных *Succinea putris* и *Pupilla alpicola*. Индикаторы незалесенных ландшафтов (*Vallonia costata* и *V. tenuilabris*) снова появились и вместе с типичным *V. pulchella* стали доминирующим компонентом фауны моллюсков (58 %). С 1800 л.н. моллюски отсутствуют.

В конце позднего голоцена (интервал E) малакоценоз включал 7 групп, среди которых доминирующее положение занимали влаголюбивые виды. Общее количество раковин моллюсков в верхней части профиля является минимальным среди обнаруженных в других образцах. На территории современного биотопа моллюски не обнаружены.

Заключение

Таким образом, в статье на примере территории Красноярской котловины представлены возможности использования палеогеографических методов (спорово-пыльцевого, малакофаунистического и педологического) для реконструкций климатов и растительности.

На основании изучения морфологии отложений левобережной террасы р. Енисей в Красноярской лесостепи выявлена полная стратиграфическая последовательность разреза, установлено формирование современной почвы — чернозема обыкновенного. Выделены три слабо развитых погребенных почвенных профиля. Проявление признаков солифлюкционных процессов, наличие мерзлотных клиньев свидетельствовали о переувлажнении территории и мерзлотных процессах в финале позднего плейстоцена. Присутствие мелкой субгоризонтальной слоистости, мелкой гальки свидетельствовало о деятельности временных или слабых постоянных водотоков. Проявление сизых отенков и железистых новообразований явилось результатом процесса оглеения.

Результаты морфологических исследований показали, что условия образования первого культурного горизонта и, соответственно, условия жизни древнего человека, были приближены к современным лесостепным условиям. Второй культурный горизонт формировался в условиях переувлажнения и относительно пониженных температур, содержит остаточные проявления деятельности водотоков.

Согласно радиоуглеродному датированию, исследованный разрез в долине р. Березовка начал формироваться 20833 ± 519 кал. лет назад. Время его развития охватывает весь голоцен (от раннего до позднего) и часть плейстоцена. Значения выбранных палеомаркеров для отложений в долине р. Березовка свидетельствовали об изменении климатических условий в позднем плейстоцене с сухих и

холодных на более влажные и теплые; в голоцене — с аридных и холодных (в раннем голоцене) на современные.

В результате изучения палинологического материала установлено, что общий состав поверхностных проб спорово-пыльцевых спектров наиболее адекватно отражает зональный тип растительного покрова лесостепной зоны. Трудности в определении видов пыльцы травянистых растений не позволяют произвести детальное сравнение соотношений видового состава поверхностных СПС с таксономической структурой травянистой растительности рассматриваемой зоны, чего нельзя сказать о пыльце древесной и кустарниковой растительности. Среди споровых растений прослеживается связь доли спор в СПС и участие в растительном покрове у хвощевых растений и папоротников из семейства *Polypodiaceae* [40].

Увеличение тепло- и влагообеспеченности в среднем голоцене нашло отражение в сукцессионных изменениях малакофауны. Уменьшение численности обитателей постоянных водотоков, а затем и представителей эпизодических водоемов, вероятно, свидетельствует о существовании старичного озера, которое в среднем голоцене начало зарастать и высыхать. Этим объясняется увеличение в составе фауны наземных видов и количества водно-болотных моллюсков. Как результат наступления теплого и влажного климата в конце среднего голоцена, в пойменной части реки Талая началось формирование древесного яруса и заселение территории *Fruticicola schrenckii* при кратковременном уменьшении *Vallonia pulchella*. С начала позднего голоцена в условиях похолодания и уменьшения увлажнения представители незалесенных мест обитания снова доминировали в лесостепных ландшафтах поймы реки Талой вплоть до конца позднего голоцена. Последняя фаза развития фауны моллюсков связана преобладанием водных или влаголюбивых видов.

Список литературы

- 1 Дрозд Е.Н. Использование палинологических данных для палеогеографических реконструкций / Е.Н. Дрозд // XI Всерос. палинолог. конф. «Палинология: теория и практика». — М.: ПИН РАН, 2005. — С. 74.
- 2 Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. — М.: ЛКИ, 2008. — 692 с.
- 3 Ложек В. Значение моллюсков для изучения континентального голоцена / В. Ложек // Голоцен. — М.: Наука, 1969. — С. 58–76.
- 4 Добровольский Г.В. Почвы в биосфере и жизни человека / Г.В. Добровольский, Г.С. Куст, И.Ю. Чернов, Т.Г. Добровольская, Л.В. Лысак, О.В. Андреева, А.Л. Степанов, Н.О. Ковалева, А.О. Макеев, Г.Н. Федотов, В.С. Шалаев, М.С. Соколов, С.Ю. Розов, А.В. Смагин, И.В. Ковалев, О.Е. Медведева, Е.А. Бессонова, Л.В. Попова, М.Е. Рыхликова, А.А. Рахлеева, И.А. Мартыненко. — М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. — 584 с.
- 5 Li M. Archeology of the Lu City: Place memory and urban foundation in Early China / M. Li, H. Fang, T.X. Zheng, A. Rosen, T.H. Wrigth, J. Wright, Y. Wang // Archaeological Research in Asia. — 2018. — Vol. 14. — P. 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.ara.2017.02.006>
- 6 Vorobieva G. Soil Formation, Subaerial Sedimentation Processes and Ancient Cultures during MIS 2 and the Deglaciation Phase MIS 1 in the Baikal–Yenisei Siberia (Russia) / G. Vorobieva, N. Vashukevich, N. Berdnikova, I. Berdnikov, D. Zolotarev, S. Kuklina, E. Lipnina // Geosciences. — 2021. — Vol. 11(8). — P. 323. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080323>.
- 7 Ivanov I.V. Problems of genesis and evolution of steppe soils: history and state of the art / I.V. Ivanov, V.A. Demkin // Eurasian Soil Science. — 1996. — Vol. 29(3). — P. 286–296.
- 8 Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates / C. Bronk Ramsey // Radiocarbon. — 2009. — Vol. 51(1). — P. 337–360.
- 9 Ložek V. Quartermollusken der Tschechoslowakei / V. Ložek. — Rozpr. Ustred. Ustavu Geol., 1964. — 374 p.
- 10 Стеклов А.А. Наземные моллюски неогена Предкавказья и их стратиграфическое значение / А.А. Стеклов. — М.: Наука, 1966. — 264 с.
- 11 Попова С.М. Кайнозойская континентальная малакофауна юга Сибири и сопредельных территорий / С.М. Попова. — М.: Наука, 1981. — 188 с.
- 12 Alexandrowicz S.W. Malacofauna of loessin the locality. Krakow-Spadzista Street C2 / S.W. Alexandrowicz, J.K. Kozlowski, K. Sobczyk // The upper Paleolithicsite Krakow — Spadzista Street C2. — Nakledem Uniwersytetu Jagiellonskiego, 1987. — P. 37–93.
- 13 Alexandrowicz S.W. Analizamalakologiczna. Metody Badaniinterpretacji / S.W. Alexandrowicz, W.P. Alexandrowicz. — Krakow, 2011. — 301 s.
- 14 Смоликова Л. Стратиграфическое и палеоклиматическое значение четвертичных ископаемых почв Средней Европы: Бюлл. комиссии по изучению Четвертичного периода / Л. Смоликова, В. Ложек. — М.: АН СССР, 1965. — С. 30–41.
- 15 Лебедева Н.В. Моллюски Голоцена Южно-Минусинской котловины: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.02 — «Палеонтология, стратиграфия» / Н.В. Лебедева. — Томск, 2011. — 26 с.

- 16 Макарчук Д.Е. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019620431 «Пресноводные моллюски голоцена Красноярской котловины» / Д.Е. Макарчук, Г.Ю. Ямских. Заявка № 2019620305; заявл. 11.03.2019, дата государственной регистрации в Реестре баз данных. — 19.03.2019.
- 17 Alexandrowicz S.W. Malacofauna of Late Quaternary loess-like deposits in the Polish Carpathians / S.W. Alexandrowicz // *Acta Geologica Polonica*. — 1988. — Vol. 38, No 1–4. — P. 85–106.
- 18 Alexandrowicz W.P. Evolution of the malacological assemblages in North Poland during the late Glacial and early Holocene / W.P. Alexandrowicz // *Folia Quaternaria*. — 1999. — Vol. 70. — P. 39–69.
- 19 Mysák J. Floodplain corridor and slope effects on land mollusc distribution patterns in a riverine valley / J. Mysák, M. Horsák // *Acta Oecologica*. — 2011. — Vol. 37. — P. 146–154.
- 20 Alexandrowicz W.P. Molluscan communities in late Holocene fluvial deposits as an indicator of Human activity: a study in Podhale Basin in South Poland / W.P. Alexandrowicz // *Ekologia (Bratislava)*. — 2013. — Vol. 32, No. 1. — P. 111–125.
- 21 Horácková J. List of malacologically treated Holocene sites with brief review of palaeomalacological research in the Czech and Slovak Republics / J. Horácková, V. Lozek, L. Juricková // *Quaternary International*. — 2014. — Vol. 357. — P. 207–211.
- 22 Ložek V. Paleoeecology of Quaternary Mollusca / V. Ložek // *Sborník geologických věd. Antropozoikum*. — 2000. — Vol. 24. — P. 35–59.
- 23 Piechocki A. Mięczaki (Mollusca), Ślimaki (Gastropoda) / A. Piechocki // *Fauna slodkowana Polski*. — 1979. — № 7. — P. 7–187.
- 24 Санько А.Ф. Малакофауна гляциоплейстоцена и голоцена Беларуси: состав, распространение, история развития: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук: Национальная академия наук; Институт геологических наук / А.Ф. Санько. — Минск, 2000. — 32 с.
- 25 Yamskikh G.Y. Habitat conditions of molluscs in the valleys of the Talaya and Bartat Rivers (Krasnoyarsk forest steppe, Russia) in the middle and late-Holocene / G.Y. Yamskikh, D.E. Makarchuk, N.Y. Zharinova // *The Holocene*. — 2022. — Vol. 32(8). — P. 807–815.
- 26 Danzeglocke U. CalPal-2007 [Electronic resource] / U. Danzeglocke, O. Jöris, B. Weninger. — 2008. — Access mode: <http://www.calpal-online.de>.
- 27 Жолобов А.С. Отражение растительного покрова горно-таежных лесов (заповедник «Столбы») в субфоссильных спектрах / А.С. Жолобов, Г.Ю. Ямских, М.И. Кокова // Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. — 2018. — С. 539–545.
- 28 Сладков А.Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ / А.Н. Сладков. — М.: Наука, 1967. — 267 с.
- 29 Чернова Г.М. Спорово-пыльцевой анализ отложений плейстоцена–голоцена / Г.М. Чернова. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2004. — 128 с.
- 30 Overpeck J.T. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra, dissimilarity coefficients and the method of modern analogs / J.T. Overpeck // *Quaternary Research*. — 1985. — Vol. 23. — P. 87–108.
- 31 Таргульян В.О. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития / В.О. Таргульян, М.А. Бронникова // *Почвоведение*. — 2019. — № 3. — С. 259–275.
- 32 Ямских А.А. Полевой почвенный генетический анализ (на примере почв юга Средней Сибири) / А.А. Ямских. — Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 2004. — 110 с.
- 33 Жаринова Н.Ю. Морфологическая характеристика отложений левобережной террасы р. Енисей в пределах Красноярской лесостепи / Н.Ю. Жаринова, Г.Ю. Ямских, Д.Е. Макарчук, И.А. Вайсброт // *Географическая среда и живые системы*. — 2022. — № 3. — С. 24–43. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-3-24-43>.
- 34 Zharinova N.Yu. Geochemistry of Holocene — Late Pleistocene sediments in the Berezovka River valley (Near-Yenisey Siberia) / N.Yu. Zharinova, G.Yu. Yamskikh, Ł. Zbucki, D.E. Makarchuk // *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. — 2023. — Vol. 68 (2). — P. 311–330. — Retrieved from <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.206>.
- 35 Добровольский В.В. География микроэлементов: Глобальное рассеивание / В.В. Добровольский. — М.: Мысль, 1983. — 272 с.
- 36 Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27 — «Почвоведение» / А.И. Сысо. — Новосибирск, 2004. — 358 с.
- 37 Иванова В.В. Геохимические особенности спектров редкоземельных элементов в отложениях Восточной Сибири как новый индикатор изменения климата позднего плейстоцена в зоне пригляциального литогенеза : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.09 — «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» / В.В. Иванова. — СПб., 2019. — 45 с.
- 38 Ямских А.Ф. О полицикловых террасах в долине Среднего Енисея / А.Ф. Ямских // *Палеогеография Средней Сибири*. — Красноярск, 1987. — С. 6–26.
- 39 Ямских Г.Ю. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры — основа реконструкций палинологических данных (на примере территории Красноярской котловины и ее горного обрамления) / Г.Ю. Ямских, Д.Е. Макарчук // *Эволюция жизни на Земле: материалы V Междунар. симпози. / отв. ред. В.М. Подобина*. — Томск, 2018. — С. 229, 230.
- 40 Ямских Г.Ю. Отражение состава растительного покрова лесостепных ландшафтов Красноярской котловины в спорово-пыльцевых спектрах поверхностных проб (для целей реконструкции климатов и растительности неоплейстоцен-голоцена) на основе использования коэффициента Дэвиса / Г.Ю. Ямских, В.О. Брунгардт, А.С. Жолобов // *Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* — Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2021. — С. 553–559.

Г.Ю. Ямских, Н.Ю. Жаринова, Д.Е. Макаrchук, А.А. Валенкова

Голоценнің климаты мен өсімдіктерін палеожаңғырту әдістері (Красноярск қазаншұңқырының мысалында)

Мақалада Березовка өзенінің алқабындағы (Красноярск орманды даласы) шөгінділердің геохимиялық зерттеулері берілген, олардың үздіксіз жиналуы соңғы плейстоценнің және барлық голоценнен (20833 ± 519 кал. жыл бұрын) басталған. Макроморфологиялық құрылымның жалпы сипаттамасы мен ерекшеліктерін талдау негізінде Красноярск орманды даласының Енисей өзені сол жағалау террасасының шөгінділерінің қалыптасуының сипаты мен шарттары анықталды. Антропогендік әсерге ең аз ұшыраған Красноярск қазаншұңқыры аумағының орманды-дала ландшафтарының сынақ алаңының және спектрлердегі өсімдік құрамының шағылысуын бағалау үшін жерүсті сынамаларының споралы-тозаң спектрлерінің (СТС) егжей-тегжейлі геоботаникалық сипаттамасының деректері келтірілген. Алынған мәліметтердің дәлдігін анықтау үшін Дэвис коэффициенті қолданылды, ол спектрдегі түр тозаңының пайызының осы түрдің фитоценоз құрамына қатысу пайызына қатынасын есептеуге мүмкіндік береді. Орманды-дала ландшафтарының өсімдік жамылғысының құрамы мен споралы-тозаң спектрлерінің құрамы арасында тікелей корреляция бар екендігі анықталды, бұл голоцен палеоклиматтары мен палеоландштейндерін қалпына келтіру үшін споралы-тозаңдық талдау деректерін түсіндіруге мүмкіндік береді. Красноярск қазаншұңқырының солтүстік-батыс бөлігінде (56029 с.е., 93045 ш.б., абсолютті биіктігі — 213 м), яғни Талая аңғарынан солтүстік-шығысқа қарай 1 км жерде осы аттас өзеннің оң жағалауының жайылмасында қаланған Талая өзені жайылмасының бөлігінің малакофауналық талдаудың нәтижелері келтірілген.

Кілт сөздер: палеогеография, голоцен, споралы-тозаңдық талдау, палеопедологиялық талдау, палеотыпырақтану, малакофауналық талдау, геохимия, Красноярск қазаншұңқыры.

G.Yu. Yamskikh, N.Yu. Zharinova, D.E. Makarchuk, A.A. Valenkova

Methods for paleoreconstruction of climates and vegetation of the Holocene (using the example of the Krasnoyarsk Basin)

We present geochemical studies of sediments in the valley of the Berezovka River (Krasnoyarsk forest-steppe), and the continuous accumulation that occurred at the Late Pleistocene-Holocene (from 20833 ± 519 calendar years ago). The nature and conditions of formation of deposits on the left bank terrace of the river Yenisei of the Krasnoyarsk forest-steppe based on an analysis of the general characteristics and features of the macromorphological structure have been determined. There are detailed geobotanical description data of a sample plot of forest-steppe landscapes in the territory of the Krasnoyarsk depression, which is least susceptible to anthropogenic impact, and spore-pollen spectra (SPS) of surface samples to assess the reflection of the composition of vegetation in the spectra. To establish the reliability of the data obtained, the Davis coefficient was used, which makes it possible to calculate the ratio of the percentage of pollen of a species in the spectrum to the percentage of participation of this species in the composition of the phytocenosis. It was found that there is a direct correlation between the composition of the vegetation cover of forest-steppe landscapes and the composition of spore-pollen spectra, which makes it possible to interpret the data of spore-pollen analysis for the reconstruction of paleoclimates and paleolandscapes of the Holocene. The results of malacofaunal analysis of the Talaya floodplain section are presented, founded in the northwestern part of the Krasnoyarsk basin (56°29'N, 93°45'E, absolute height — 213 m) on the floodplain of the right bank of the river, 1 km northeast of the village of Talaya.

Keywords: paleogeography, Holocene, spore-pollen analysis, paleopedological analysis, paleosoil science, malacofaunistic analysis, geochemistry, Krasnoyarsk depression.

References

- 1 Drozd, E.N. (2005). Ispolzovaniie palinologicheskikh dannikh dlia paleogeograficheskikh rekonstruktsii [Use of palynological data for paleogeographic reconstructions]. *XI Vserossiiskaia palinologicheskaiia konferentsiia «Palinologiia: teoriia i praktika — XI All-Russian Palynological Conference "Palinology: theory and practice"*. Moscow: PIN RAN [in Russian].
- 2 Targulian, V.O. & Goryachkin, S.V. (Eds.). (2008). Pamiat pochv: Pochva kak pamiat biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeistvii [Soil memory: Soil as a memory of biosphere-geosphere-anthroposphere interactions]. Moscow: LKI [in Russian].
- 3 Lozhek, V. (1969). Znachenie molliuskov dlia izuchenii kontinentalnogo golotsena [The importance of mollusks for the study of the continental Holocene]. *Golotsen — Holocene*, 58–76 [in Russian].
- 4 Dobrovolsky, G.V., Kust, G.S., Chernov, I.Yu., Dobrovolskaya, T.G., Lysak, L.V., Andreeva, O.V., Stepanov, A.L., Kovaleva, N.O., Makeev, A.O., Fedotov, G.N., Shalaev, V.S., Sokolov, M.S., Rozov, S.Yu., Smagin, A.V., Kovalev, I.V., Medvedeva,

O.E., Bessonova, E.A., Popova, L.V., Rykhlikova, M.E., Rakhleeva, A.A., & Martynenko, I.A. (2012). *Pochvy v biosfere i zhizni cheloveka [Soils in the biosphere and human life]*. Moscow: FGBOU VPO MGUL [in Russian].

5 Li, M., Fang, H., Zheng, T.X., Rosen, A., Wrigh, T.H., Wright, J., & Wang, Y. (2018). Archeology of the Lu City: Place memory and urban foundation in Early China. *Archaeological Research in Asia*, 14, 151-160.

6 Vorobieva, G., Vashukevich, N., Berdnikova, N., Berdnikov, I., Zolotarev, D., Kuklina, S., & Lipnina, E. (2021). Soil Formation, Subaerial Sedimentation Processes and Ancient Cultures during MIS 2 and the Deglaciation Phase MIS 1 in the Baikal–Yenisei Siberia (Russia). *Geosciences*, 11(8), 323.

7 Ivanov, I.V., & Demkin, V.A. (1996). Problems of genesis and evolution of steppe soils: history and state of the art. *Eurasian Soil Science*, 29(3), 286–296.

8 Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1); 337–360.

9 Ložek, V. (1964). *Quartermollusken der Tschechoslowakei*. Rozpr. Ustred. Ustavu Geol.

10 Steklov, A.A. (1966). *Nazemnyye molliuski neogena Predkavkazia i ikh stratigraficheskoe znachenie [Terrestrial mollusks of the Neogene Ciscaucasia and their stratigraphic significance]*. Moscow: Nauka [in Russian].

11 Popova, S.M. (1981). *Kainozoiskaia kontinentalnaia malakofauna yuga Sibiri i sopredelnykh territorii [Cenozoic continental malacofauna of southern Siberia and adjacent territories]*. Moscow: Nauka [in Russian].

12 Alexandrowicz, S.W., Kozłowski, J.K., & Sobczyk, K. (1987). Malacofauna of loessin the locality. Krakow-Spadzista Street C2. *The upper Paleolithic site Krakow – Spadzista Street C2*, 37–93. Nakleodem Uniwersytetu Jagiellonskiego.

13 Alexandrowicz, S.W. & Alexandrowicz, W.P. (2011). *Analiz malakologiczna. Metody Badani i interpretacji*. Krakow.

14 Smolikova, L. (1965). *Stratigraficheskoe i paleoklimaticeskoe znachenie chetvertichnykh iskopaiemykh pochv Srednei Evropy: Biulleten Komissii po izucheniiu Chetvertichnogo perioda [Stratigraphic and paleoclimatic significance of Quaternary fossil soils of Central Europe: bulletin of Commission for the Study of the Quaternary Period]*. Moscow AN SSSR; 30–41 [in Russian].

15 Lebedeva, N.V. (2011). *Molliuski golotsena Yuzhno-Minusinskoj kotloviny [Mollusks of the Holocene of the South Minusinsk depression]*. Extended abstract of candidate's thesis. Tomsk [in Russian].

16 Makarchuk, D.E. & Yamskikh, G.Yu. (2019). *Presnovodnye molliuski golotsena Krasnoiaroskoj kotloviny [Certificate of state registration of the database No. 2019620431 “Freshwater mollusks of the Holocene of the Krasnoyarsk depression”]* [in Russian].

17 Alexandrowicz, S.W. (1988). Malacofauna of Late Quaternary loess-like deposits in the Polish Carpathians. *Acta Geologica Polonica*, 38 (1–4); 85–106.

18 Alexandrowicz, W.P. (1999). Evolution of the malacological assemblages in North Poland during the late Glacial and early Holocene. *Folia Quaternaria*, 70; 39–69.

19 Mysák, J. & Horsák, M. (2011). Floodplain corridor and slope effects on land mollusk distribution patterns in a riverine valley. *Acta Oecologica*, 37; 146–154.

20 Alexandrowicz, W.P. (2013). Molluscan communities in late Holocene fluvial deposits as an indicator of Human activity: a study in Podhale Basin in South Poland. *Ekologia (Bratislava)*, 32(1); 111–125.

21 Horáčková, J., Lozek, V., & Juricková, L. (2014). List of malacologically treated Holocene sites with brief review of palaeomalacological research in the Czech and Slovak Republics. *Quaternary International*, 357; 207–211.

22 Ložek, V. (2000). Paleoeecology of Quaternary Mollusca. *Sbornik geologických věd. Antropozoikum*, 24; 35–59.

23 Piechocki, A. (1979). Mięczaki (Mollusca), Ślimaki (Gastropoda). *Fauna slodkowana Polski*, 7; 7–187.

24 Sanko, A.F. (2000). Malakofauna gliatsiopeystotsena i golotsena Belarusi: sostav, rasprostraneniie, istoriia razvitiia [Malacofauna of the Glaciopleistocene and Holocene of Belarus: composition, distribution, history of development]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Minsk [in Russian].

25 Yamskikh, G.Y., Makarchuk, D.E., & Zharinova, N.Y. (2022). Habitat conditions of mollusks in the valleys of the Talaya and Bartat Rivers (Krasnoyarsk forest-steppe, Russia) in the middle and late-Holocene. *The Holocene*, 32(8); 807-815.

26 Danzeglocke, U., Jöris, O., & Weninger, B. (2008). CalPal-2007. Retrieved from <http://www.calpal-online.de>

27 Zholobov, A.S., Yamskikh, G.Yu., & Kokova, M.I. (2018). Otrazheniie rastitelnogo pokrova gorno-taiezhnykh lesov (Zapovednik «Stolby») v subfossilnykh spektrakh [Reflection of the vegetation cover of mountain taiga forests (“Stolby” Nature Reserve) in subfossil spectra]. *Sbornik materialov mezhdunarodnykh nauchno-prakticheskikh konferentsii — Book of abstract of International scientific-practical conferences*; 539–545 [in Russian].

28 Sladkov, A.N. (1967). *Vvedeniie v sporovo-pyltsevoi analiz [Introduction to spore-pollen analysis]*. Moscow: Nauka [in Russian].

29 Chernova, G.M. (2004). *Sporovo-pyltsevoi analiz otlozhenii pleystotsena–golotsena [Spore-pollen analysis of Pleistocene-Holocene deposits]*. Saint-Petersburg: Sankt-Peterburgskii universitet [in Russian].

30 Overpeck, J.T. (1985). Quantitative interpretation of fossil pollen spectra, dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quaternary Research*, 23; 87–108.

31 Targulyan, V.O. & Bronnikova, M.A. (2019). Pamiat pochv: teoreticheskie osnovy kontseptsii, sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia [Soil memory: theoretical foundations of the concept, current state and development prospects]. *Soil science*, 3; 259–275 [in Russian].

32 Yamskikh, A.A. (2004). *Polevoi pochvennyi geneticheskii analiz (na primere pochv yuga Srednei Sibiri) [Field soil genetic analysis (using the example of soils in the south of Central Siberia)]*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].

33 Zharinova, N.Yu., Yamskikh, G.Yu., Makarchuk, D.E., & Weisbrot, I.A. (2022). Morfologicheskaiia kharakteristika otlozhenii levoberezhnoi terrasy r. Yenisei v predelakh Krasnoiaroskoj lesostepi [Morphological characteristics of deposits on the left bank terrace of the river Yenisei within the Krasnoyarsk forest-steppe]. *Geograficheskaiia sreda i zhivye sistemy — Geographical environment and living systems*, 3; 24–43 [in Russian].

34 Zharinova, N.Yu., Yamskikh, G.Yu., Zbucki, Ł., & Makarchuk, D.E. (2023). Geochemistry of Holocene — Late Pleistocene sediments in the Berezovka River valley (Near-Yenisey Siberia). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (2); 311–330.

35 Dobrovolsky, V.V. (1983). *Geografiia mikroelementov: Globalnoe rasseivanie [Geography of trace elements: Global dispersion]*. Moscow: Mysl [in Russian].

36 Syso, A.I. (2004). *Zakonomernosti raspredeleniia khimicheskikh elementov v pochvoobrazuiushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri [Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]*. Doctor's thesis. Novosibirsk [in Russian].

37 Ivanova, V.V. (2019). Geokhimicheskie osobennosti spektrov redkozemelnykh elementov v otlozheniakh Vostochnoi Sibiri kak novyi indikator izmeneniia klimata pozdnego pleistotsena v zone perigliatsialnogo litogeneza [Geochemical features of the spectra of rare earth elements in sediments of Eastern Siberia as a new indicator of climate change of the late Pleistocene in the zone of periglacial lithogenesis]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Saint-Petersburg [in Russian].

38 Yamskikh, A.F. (1987). O politsiklovnykh terrasakh v doline SrednegoYeniseia [About polycyclic terraces in the valley of the Middle Yenisei]. *Paleogeografiia Srednei Sibiri — Paleogeography of Middle Siberia*. Krasnoiarsk, 6–26 [in Russian].

39 Yamskikh, G.Yu., & Makarchuk, D.E. (2018). Subfossilnye sporovo-pyltsevye spektry — osnova rekonstruktsii palinologicheskikh dannykh (na primere territorii Krasnoiarskoi kotloviny i ee gornogo obramleniia) [Subfossil spore-pollen spectra are the basis for the reconstruction of palynological data (using the example of the territory of the Krasnoyarsk depression and its mountain frame)]. *Evolutsiia zhizni na Zemle: materialy V Mezhdunarodnogo simpoziuma — Life evolution on Earth: materials of V International Symposium*. Tomsk, 229, 230 [in Russian].

40 Yamskikh, G.Yu., Brungardt, V.O., & Zholobov, A.S. (2021). Otrazheniie sostava rastitelnogo pokrova lesostepnykh landshaftov Krasnoiarskoi kotloviny v sporovo-pyltsevykh spektrakh poverkhnostnykh prob (dlia tselei rekonstruktsii klimatov i rastitelnosti neopleistotsen–golotsena) na osnove ispolzovaniia koeffitsienta Devisa [Reflection of the composition of the vegetation cover of forest-steppe landscapes of the Krasnoyarsk depression in the spore-pollen spectra of surface samples (for the purpose of reconstructing Neopleistocene-Holocene climates and vegetation) based on the use of the Davis coefficient]. *Geograficheskie issledovaniia Sibiri i Altae-Saianskogo transgranichnogo regiona: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii – Geographical study of Siberia and Altai-Sayan transborder region: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 553–559 [in Russian].

Information about authors

Yamskikh, Galina Yuryevna — Doctor of geographical sciences, Professor, Head of Geography Department of Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; yamskikh@mail.ru;

Zharinova, Natalya Yuryevna — Candidate of biological sciences, Docent of Geography Department of Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; nata_1986@bk.ru;

Makarchuk, Daria Evgenjevna — Candidate of biological sciences, Docent of Geography Department of Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; bolkunova91@mail.ru;

Valenkova, Anna Alexandrovna — Post-graduate Student of Geography Department, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; valenkova@bk.ru.

О.В. Янцер*

Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

**Автор для корреспонденции: ksenia_yantser@bk.ru*

Весеннее развитие черемухи обыкновенной как индикатор временных состояний ландшафтов (Свердловская область)

В статье представлены результаты исследования весеннего развития черемухи обыкновенной при проведении Единого фенологического дня 15 мая на территории Свердловской области за 2012–2023 гг. Изучение сезонного состояния вида при помощи описательного метода позволило определить географические закономерности наступления фенологических фаз и скорости продвижения явления в пространстве в пределах природных зон и подзон в зависимости от факторов окружающей среды. Выявлено более раннее развитие черемухи на юго-востоке и юго-западе области, далее фронт явления продвигается на север и северо-запад. Различия между северными и южными районами территории, в среднем, составляют 6–7 баллов. В результате наблюдений получена характеристика сезонного развития объекта, индицирующего состояние природных комплексов в краткой математической форме. Максимальное опережение развития выявлено в лесостепной зоне Русской равнины и Западной Сибири в границах исследуемого региона. В горных районах области явления наступают с заметным отставанием в 6 баллов по сравнению с равнинными. Скорость прохождения явления в разных под зонах колеблется от 0,8 до 3 баллов/100 км. Опыт такого рода многолетних исследований для других районов страны может помочь выявить тенденции влияния изменений климата на адаптационные механизмы отдельных видов растений-феноиндикаторов.

Ключевые слова: сезонная динамика, природная зона, черемуха обыкновенная, Свердловская область, Урал.

Введение

Анализ закономерностей сезонного развития растений представляет значительный интерес, так как данные о фенологическом развитии потенциально могут содержать информацию как о механизмах влияния на растения внешних модифицирующих факторов (в частности, погодных факторов), так и о регуляторных процессах в самом растении [1]. Всплеск интереса к фенологии растений в последние десятилетия связан с исследованиями в области глобального потепления климата. Анализ сроков и их направленности в периодических событиях растительного мира может выступать не только как хороший биоиндикатор климатических изменений, но и как количественный показатель воздействия потепления на природные комплексы. Действительно, при потеплении и росте весенних температур критические температуры или суммы накопленных температур, необходимые для начала вегетации, будут достигнуты в более ранние сроки [1, 2]. Подобные изменения отражаются в сдвиге весенних фенофаз на все более раннее время: сроки раскрывания почек и зацветания имеют отрицательный тренд [3, 4]. Весной различия между ландшафтами максимальны, поскольку трансформация гидро-термических показателей очень активна, но протекает разными темпами. Наблюдаемые изменения в датах наступления весенних явлений часто связывают с температурой предшествующих месяцев. По мнению ряда ученых, подобное явление ярче всего проявится в сезонном развитии растений бореальной зоны Северного полушария, в Европе и Северной Америке [5–8].

Методы и материалы

Сотрудниками кафедры географии, методики географического образования и туризма УрГПУ организован сбор данных на одну дату — 15 мая — в Единый фенологический день (далее ЕФД). Перед участниками стояла задача выбрать объект — дерево или куст черёмухи и ежегодно 15 мая отмечать его фенологическое состояние, сравнивая имеющийся объект с общей шкалой развития вида. Каждой фазе сезонного развития растения присвоено цифровое обозначение, для обеспечения высокой детальности наблюдений М.К. Куприяновой и Н.В. Беляевой оформлены шкалы нормальной последовательности фенофаз — перечень последовательных фенологических состояний объекта в виде прямого ряда сезонных необратимых состояний развития черемухи с фотографиями. Весна отличает-

ся наличием ярких, заметных, точно фиксированных явлений и минимальными сроками их протекания. К наиболее распространенным явлениям, характеризующим наступление разгара весны, относятся зацветание черемухи обыкновенной, составляющей «золотую коллекцию» панареальных феноиндикаторов. Это распространенный вид, сохраняющий свою индицирующую роль на всем ареале распространения. Зацветание черемухи часто сопровождается последними заморозками в воздухе и приходом тепла [4, 9].

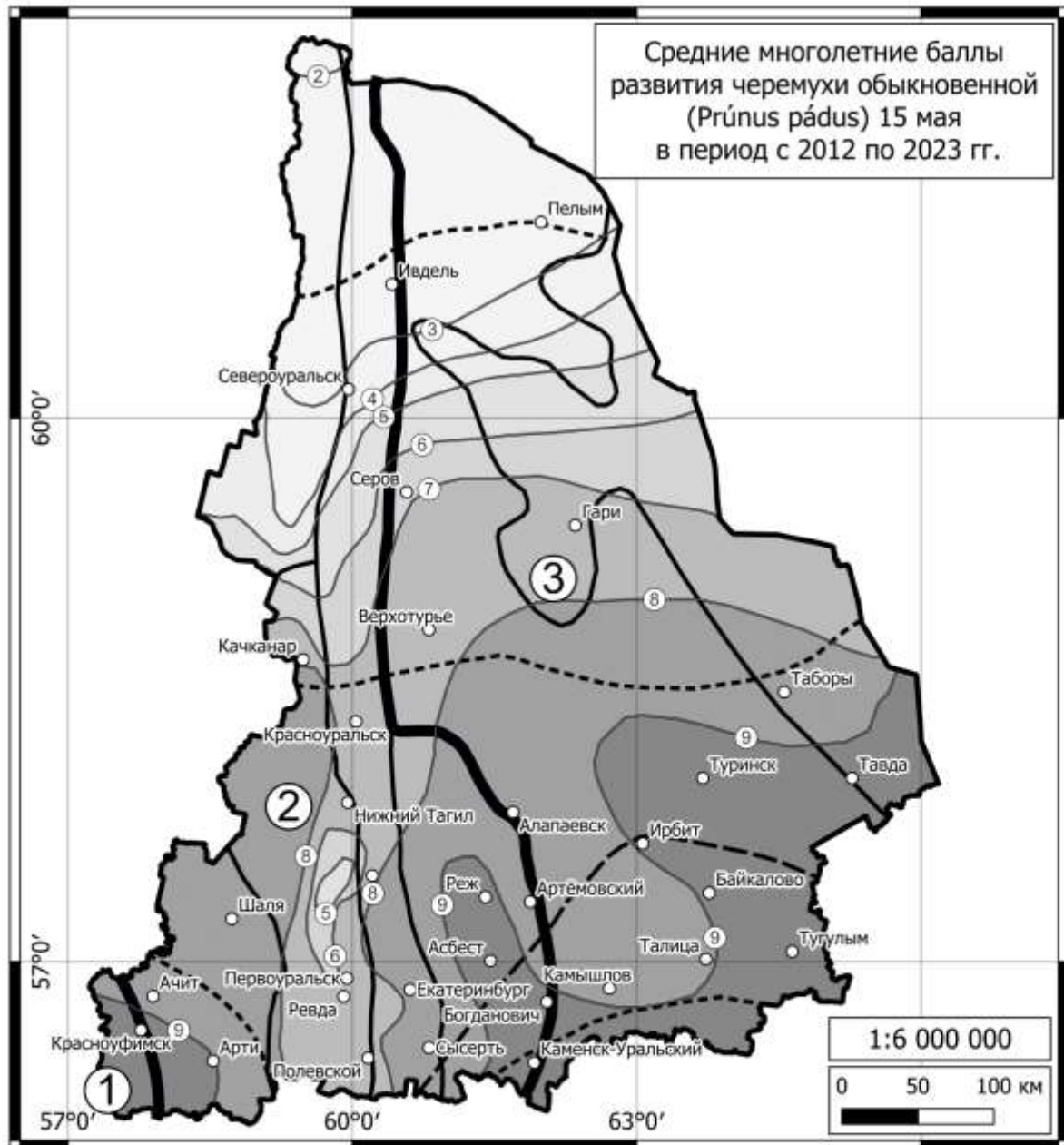
Выбор описательного первичного метода феноизмерений, разработанного В.А. Батмановым [10], определен отсутствием необходимости многократных посещений объекта в течение сезона и проведения каких-либо подсчетов на местности. Согласно данной шкале, 0 баллов — фаза зимнего покоя (все почки сохраняют зимний вид и размеры); 1 балл — фаза набухания почек (у всех почек наружные жесткие коричневые почечные чешуи расходятся, и на ветвях появляются увеличивающиеся почки, прикрытые зеленовато-белыми пленчатыми чешуями); 2 балла — фаза «проклёвывания» почек (появление «лопнувших» цветочных почек, из которых показались соцветия); 3 балла — фаза бутонизации (появление полностью обособившихся компактных прямых соцветий-«свечек») и т.д. [9]. В один момент времени получена количественная фенологическая характеристика отдельных растений. Для выявления закономерностей в сезонном развитии вида выбраны только те пункты, где проект постоянно реализован с 2012 по 2023 годы. Для генерализации массива многолетних данных были определены средние многолетние баллы развития (М) со стандартными ошибками наблюдений (m) в 33 пунктах Свердловской области. Вычисленные средние арифметические фенологические показатели развития объектов являются статистически достоверной характеристикой сезонного развития геокомплексов, индицируют состояние всего природного комплекса и позволяют сравнивать ландшафты, расположенные в различных климатических условиях.

Фенологическое картографирование осуществлено при помощи построения поверхности в ПО ArcGISDesktop. В результате геокодирования пунктов наблюдения с помощью интерполяции получена поверхность распределения результатов наблюдения методом обратно взвешенных расстояний [10]. Наблюдениями не охвачена крайняя северо-восточная и северо-западная части области, что обусловлено их слабой заселенностью. Интерполяция позволила использовать известные значения в опорных точках для прогнозирования значений в пунктах, где не осуществлялись измерения. По полученной поверхности построены изофены и определены зоны с разным средним многолетним состоянием объекта 15 мая. Для оптимизации сравнения показателей весенней динамики вида в ландшафтах произведен расчет скорости прохождения фенологических процессов с севера на юг, измеряемых количеством баллов/долями баллов на 100 км при движении с юга на север и с запада на восток [11].

Результаты и обсуждение

На карте средних многолетних баллов развития вида (см. рис.) визуализирован ход изофен — линий с одинаковым фенологическим состоянием. По характеру изолиний можно судить о распространении процесса развития черемухи на территории области. Процесс начинается на юго-востоке и юго-западе области и продвигается на север и северо-запад. В то время как в лесостепной подзоне в юго-западной и юго-восточной территориях на Русской и Западно-Сибирской равнинах в границах области черемуха обыкновенная достигает стадии развития «начало отцветания» и «массовое цветение», на севере в подзоне северной тайги наблюдается лишь проклёвывание почек.

Различий в горной и равнинной части северной тайги в регионе не выявлено. В средней тайге горной полосы и восточных предгорий представлено максимальное количество состояний — 6, от начала бутонизации в ее северной части до массового цветения на южной границе. Почти субмеридиональное положение изофен иллюстрирует влияние горного рельефа. Это определено барьерной ролью Уральских гор, условия которых препятствуют раннему сходу снега, быстрому прогреванию и просыханию почвы, в том числе в предгорьях, активным ростовым процессам вида в первой декаде мая.



Условные знаки

<ul style="list-style-type: none"> ○ Населенные пункты ▭ Граница Свердловской области ○(5) Изофены Граница: ▬ Физико-географических стран ▬ Географических зон ▬ Географических подзон ▬ Природных районов 	<p>Фенологическое состояние</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 балл - набухание почек 2 балла - проклевывание почек 3 балла - начало бутонизации 4 балла - "разрыхление" соцветий 5 баллов - соцветия-кисти 	<ul style="list-style-type: none"> 6 баллов - окрашенные бутоны 7 баллов - начало цветения 8 баллов - массовое цветение 9 баллов - начало отцветания <p>Физико-географические страны:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Восточно-Европейская равнинная страна 2. Новоземельско-Уральская равнинно-горная страна 3. Западно-Сибирская равнинная страна
---	---	---

Рисунок. Многолетнее состояние развития черемухи обыкновенной 15 мая

Скорость продвижения явления здесь составляет до 3 баллов/100 км. В Западно-Сибирской средней тайге конфигурация изофен меняется на субширотную и продвижение фронта явления происходит со скоростью 0,7 балла/100 км. Вероятно, определяющим фактором здесь, наряду с широт-

ным распределением солнечной радиации, задерживающим развитие вида, служит большее количество осадков зимнего периода и меньшее количество солнечных дней в начале весны в связи с перестройкой циркуляции атмосферы.

Южная тайга западных предгорий Урала и в Западной Сибири характеризуется массовым цветением и началом отцветания черемухи. Горная полоса Среднего Урала, восточные предгорья отличаются субмеридиональным положением изофен и скоростью прохождения явления вверх по склону до 1,1–1,4 балла/100 м (до 3 суток на 100 м высоты). Для Зауральского пенеплена отмечен минимальный разброс состояний — от массового цветения до начала отцветания. Изофены в северной части южной тайги здесь проходят почти субмеридионально, за исключением участка между Алапаевском и Ирбитом, где запаздывание в развитии в 2–2,5 суток, вероятно, может быть обусловлено наличием долин рек, более поздним ледоходом на них и сходом снега в долинах.

Лесостепные районы равнин области также характеризуются минимальными различиями в сезонном развитии вида, здесь субширотный ход изофен определяется количеством солнечной энергии весной, быстрым стаиванием снега вследствие его небольшого объема и просыханием почвы. Скорость продвижения явления в южной части области от 0,6 баллов/100 км на западе до 0,4 баллов/100 км на востоке. Продвижение с юга на север происходит разными темпами: в западных предгорьях 1,2 баллов/100 км, в горной полосе до 1,4 баллов/100 км. В восточных предгорьях 1,1 балла/100 км, а в Западной Сибири до 0,8 балла/100 км. По нашим предварительным расчетам разница в 1 балл, в среднем, в горных территориях соответствует скорости продвижения явления в 3–4 суток, на равнинах — 1,5–2,5 суток.

Выводы

Пространственный анализ данных всей совокупности средней многолетней балльной цифровой характеристики весеннего развития вида за период 2012–2023 гг. подтверждает влияние широтной зональности, секторности, характера рельефа. Весенняя динамика черемухи в лесостепи и в южной тайге характеризуется большей интенсивностью на равнинных территориях, а также в восточных и западных предгорьях Урала. В средней тайге разница в наступлении явлений между горными и равнинными территориями на одной широте колеблется от 1 до 3 баллов (2–5 суток). В горной и равнинной частях северной тайги явления протекают равномерно медленно. В целом, в горных территориях явления наступают с заметным отставанием, доходящим до разницы в 6 баллов с соседними природными комплексами.

Изучение пространственных закономерностей развития видов-феноиндикаторов служит перспективным направлением исследований динамики ландшафтов. Дальнейшая разработка методики моделирования и прогнозирования развития явлений для территорий в зонах с наименьшим количеством наблюдений или отсутствующими населенными пунктами даст возможность определить характер временных сдвигов, позволит получить инструмент оценки степени воздействия климатических изменений на весеннее развитие отдельных природных комплексов.

Список литературы

- 1 Овчинникова Т.М. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника «Столбы» в связи с климатическими факторами / Т.М. Овчинникова, В.А. Фомина, Е.Б. Андреева, Н.П. Должковая, В.Г. Суховольский // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — № 1–2. — С. 54–59.
- 2 Иванов Н.В. Фенологические и термические индикаторы сезонного развития природы / Н.В. Иванов // Фенологическая индикация и фенопрогнозирование. — Л.: РТП ГО СССР, 1984. — С. 17–21.
- 3 Жмылев П.Ю. Возможные причины изменений сезонного развития растений в связи с потеплением климата / П.Ю. Жмылев, А.П. Жмылева, Е.А. Карпухина, А.В. Титовец // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. Биологические науки. — 2001. — № 9. — С. 98–103.
- 4 Минин А.А. Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) / А.А. Минин, Э.Я. Ранькова, Е.Г. Рыбина, И.И. Сапельникова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2016. — Т. XXVIII, № 3. — С. 5–22.
- 5 Минин А.А. Гомеостатические реакции деревьев на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты / А.А. Минин, А.В. Воскова // Онтогенез. — 2014. — Т. 45, № 3. — С. 162–169.

- 6 Kramer K. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview / K. Kramer, I. Leinonen, D. Loustau // *Int. Journ. Biomet.* — 2000. — Vol. 44. — P. 67–75.
- 7 Минин А.А. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления / А.А. Минин // *Жизнь Земли.* — 2018. — Т. 40, № 2. — С. 162–174.
- 8 Ovaskainen O. Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology / O. Ovaskainen, E. Meyke, C. Lo // *Scientific Data.* — 2020. — Vol. 7 (47). — P. 1–12.
- 9 Ivanova U.R. Spatial Heterogeneity in Phenological Development of *Prunus Padus* L. In *The Yekaterinburg City* / U.R. Ivanova, N.V. Skok, O.V. Yantser // *Geography, environment, sustainability.* — 2019. — Vol. 2 (12). — P. 273–281.
- 10 Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование / Т.И. Коновалова. — Новосибирск: Гео, 2010. — 186 с.
- 11 Янцер О.В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор / О.В. Янцер, Н.В. Скок // *Вестн. Башкир. гос. ун-та. Сер. География.* — 2016. — № 1. — С. 91–100.

О.В. Янцер

Кәдімгі мойылдың көктемгі дамуы ландшафтардың уақытша күйлерінің көрсеткіші ретінде (Свердлов облысы)

Мақалада 2012-2023 жылдарға арналған Свердлов облысының аумағында 15 мамырда Бірыңғай фенологиялық күн өткізілген кезінде кәдімгі мойылдың көктемгі дамуын зерттеудің нәтижелері келтірілген. Сипаттамалық әдісті қолдана отырып, түрдің маусымдық жағдайын зерттеу фенологиялық фазалардың басталуының географиялық заңдылықтарын және қоршаған орта факторларына байланысты табиғи аймақтар мен ішкі аймақтар ішіндегі кеңістіктегі құбылыстың даму жылдамдығын анықтауға мүмкіндік берді. Облыстың оңтүстік-шығысы мен оңтүстік-батысында кәдімгі мойылдың ертерек дамуы анықталды, содан кейін бағыты солтүстік пен солтүстік-батысқа қарай жылжиды. Аумақтың солтүстік және оңтүстік аудандары арасындағы айырмашылықтар орташа есеппен 6-7 балды құрайды. Бақылау нәтижесінде табиғи кешендердің жай-күйін қысқаша математикалық түрде индикациялайтын объектінің маусымдық даму сипаттамасы алынды. Ресей жазығы мен Батыс Сібірдің орманды-дала аймағында зерттелетін аймақтың шекараларында дамудың максималды ілгерілеуі анықталды. Облыстың таулы аймақтарында құбылыстар жазықтармен салыстырғанда 6 балдық артта қалумен келеді. Құбылыстың әртүрлі ішкі аймақтарда өту жылдамдығы 0,8-ден 3 балл/100 км-ге дейін. Елдің басқа аймақтары үшін осындай көп жылдық зерттеулердің тәжірибесі климаттың өзгеруінің өсімдіктердің жеке феноиндикатор түрлерінің бейімделу механизмдеріне әсер ету тенденцияларын анықтауға көмектеседі.

Кілт сөздер: маусымдық динамика, табиғи аймақ, кәдімгі мойыл, Свердлов облысы, Орал.

O.V. Yantser

Spring development of common bird cherry as an indicator of temporal states of landscapes (Sverdlovsk region)

The article presents the results of a study of the spring development of the common bird cherry during the Single Phenological Day on May 15 in the Sverdlovsk region for 2012-2023. The study of the seasonal state of the species using the descriptive method made it possible to determine the geographical patterns of the onset of phenological phases and the rate of movement of the phenomenon in space within natural zones and subzones, depending on environmental factors. Earlier development of bird cherry in the south-east and south-west of the region was revealed, and then the front of the phenomenon moves to the north and north-west. The differences between the northern and southern regions of the territory, on average, are 6-7 points. As a result of observations, a characteristic of the seasonal development of an object indicating the state of natural complexes in a brief mathematical form was obtained. The maximum advance of development was revealed in the forest-steppe zone of the Russian Plain and Western Siberia within the boundaries of the studied region. In the mountainous regions of the region, phenomena occur with a noticeable lag of 6 points compared to the plains. The speed of the phenomenon in different subzones ranges from 0.8 to 3 points / 100 km. The experience of this kind of long-term research for other regions of the country can help to identify trends in the influence of climate change on the adaptation mechanisms of individual plant species- phenoinicators.

Keywords: seasonal dynamics, natural zone, common bird cherry, Sverdlovsk region, Ural.

References

- 1 Ovchinnikova, T.M., Fomina, V.A., Andreeva, E.B., Dolzhkovaya, N.P., & Suhovolsky, V.G. (2011). Analiz izmenenii srokov sezonnykh yavlenii u drevesnykh rastenii zapovednika «Stolby» v svyazi s klimaticheskimi faktorami [Analysis of changes in the timing of seasonal phenomena in woody plants of the Stolby Nature Reserve in connection with climatic factors]. *Khvoinye borealnoi zony — Conifers of the boreal zone*, 1–2, 54–59 [in Russian].
- 2 Ivanov, N.V. (1984). Fenologicheskie i termicheskie indikatory sezonnogo razvitiia prirody [Phenological and thermal indicators of seasonal development of nature]. *Fenologichaskaia indikatsia i fenoprognostirovanie — Phenological indication and phenological forecasting*. Leningrad: RTP GO USSR, 17–21 [in Russian].
- 3 Zhmylev, P.Yu., Zhmyleva, A.P., Karpukhina, E.A., & Titovets, A.V. (2001). Vozможные причины izmenenii sezonnogo razvitiia rastenii v svyazi s potepleniem klimata [Possible reasons for changes in the seasonal development of plants in connection with climate warming]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya Ekologiya i bezopasnost zhiznedeiatel'nosti. Biologicheskie nauki — Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety. Biological Sciences*, 9, 98–103 [in Russian].
- 4 Minin, A.A., Rankova, E.Ya., Rybina, E.G., & Sapelnikova, I.I. (2016). Fenoindikatsiia izmenenii klimata za period 1976–2015 gg. v tsentralnoi chasti evropeiskoi territorii Rossii: bereza borodavchataia (povislaia) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), chermukha obyknovennaia (*Padus avium* Mill.), ryabina obyknovennaia (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaia (*Tilia cordata* Mill.) [Phenoindication of climate change for the period 1976–2015. in the central part of the European territory of Russia: silver birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.), mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy ekologicheskogo monitoring i modelirovaniia ekosistem — Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling*, XXVIII (3), 5–22 [in Russian].
- 5 Minin, A.A., & Voskova, A.V. (2014). Gomeostaticheskie reaktsii derevev na sovremennye izmeneniia klimata: prostvenno-fenologicheskie aspekty [Homeostatic responses of trees to modern climate changes: spatial and phenological aspects]. *Ontogenez — Ontogenesis*, 45 (3), 162–169 [in Russian].
- 6 Kramer, K., Leinonen, I., & Loustau, D. (2000). The importance of phenology for the evaluation of the impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *Int. Journ. Biomet*, 44, 67–75.
- 7 Minin, A.A. (2018). Fenologicheskie trendy v prirode tsentralnoi chasti Russkoi ravniny v usloviakh sovremennogo potepleniia [Phenological trends in the nature of the central part of the Russian Plain in conditions of modern warming]. *Zhizn Zemli — Life of the Earth*, 40(2), 162–174 [in Russian].
- 8 Ovaskainen, O., Meyke, E., & Lo, C. (2020). Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. *Scientific Data*, 7 (47); 1–12.
- 9 Ivanova, U.R., Skok, N.V., & Yantser, O.V. (2019). Spatial Heterogeneity in Phenological Development of Prunus Padus L. In The Yekaterinburg City. *Geography, environment, sustainability*, 2 (12); 273–281.
- 10 Konovalova, T.I. (2010). *Geosistemnoe kartografirovaniie [Geosystem mapping]*. Novosibirsk: Geo [in Russian].
- 11 Yantser, O.V. & Skok, N.V. (2016). Fenologicheskie metody issledovaniia v izuchenii dinamiki landshaftov: obshchii obzor [Phenological research methods in the study of landscape dynamics: a general overview]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geografiia — Bulletin of the Bashkir State University. Series Geography*, 1, 91–100 [in Russian].

Information about authors

Yantser, Oksana Vasilyevna — Associate Professor, Candidate of geographical sciences; Director of the Institute of Natural Sciences, Physical Culture and Tourism; Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia; ksenia_yantser@bk.ru.