

ISSN 0033-9946

Том 59, Выпуск 1

Январь - Март 2023



РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Том 59, вып. 1, 2023

ОБЗОР

The Genus *Iris* (Iridaceae) in Russia: Phytochemistry, Biological Activity and Application in Traditional Medicine

N. B. Alexeeva, M. M. Dorofeeva, E. A. Varfolomeeva, L. N. Mironova

3

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ Интродукция ресурсных видов

Возможности адаптации видов *Salix*, *Chosenia*, *Toisusu* (Salicaceae) при интродукции в Северо-Западном регионе России (г. Санкт-Петербург)

Л. Ф. Яндовка, А. С. Трофимова, Т. С. Дворецкая

30

Компонентный состав ресурсных видов

Компонентный состав семян *Glycine soja* (Fabaceae) на территории Амурской области

С. И. Лаврентьева, Л. Е. Иваченко, А. А. Блинова, О. Н. Бондаренко, В. А. Кузнецова

38

Компонентный состав кормовых растений и лишайников оленьих пастбищ Надымского района (Ямало-Ненецкий автономный округ)

Е. А. Болдырева

54

Содержание зольных элементов в листьях, цветках и плодах представителей рода *Crataegus* (Rosaceae)

С. В. Мухаметова, Ю. П. Демаков, В. И. Таланцев

65

Антропогенное воздействие на растительные ресурсы

Зависимость радиального прироста *Pinus sylvestris* (Pinaceae) от метеорологических условий и аэротехногенного загрязнения на северо-западе Мурманской области

И. В. Ромашкин, Н. В. Геникова, А. М. Крышень, С. А. Мошников, Н. В. Поликарпова

76

Трансформация фитоценозов в пустынно-пастбищных экосистемах (на примере северо-западного Прикаспия)

Л. П. Рыбашлыкова, С. Ю. Турко

93

Contents

Vol. 59, issue 1, 2023

REVIEW

The Genus *Iris* (Iridaceae) in Russia: Phytochemistry, Biological Activity and Application in Traditional Medicine

N. B. Alexeeva, M. M. Dorofeeva, E. A. Varfolomeeva, L. N. Mironova

3

ARTICLES AND COMMUNICATIONS

Introduction of Resource Species

Assessing the Adaptive Capacity of *Salix*, *Chosenia* and *Toisusu* (Salicaceae) Species Introduced in the North-West Region of Russia (St. Petersburg)

L. F. Yandovka, A. S. Trofimova, T. S. Dvoretzkaya

30

Component Composition of Resource Species

Chemical Composition of *Glycine soja* (Fabaceae) Seeds from the Amur Region Territory

*S. I. Lavrent'yeva, L. E. Ivachenko, A. A. Blinova,
O. N. Bondarenko, V. A. Kuznetsova*

38

Elemental Composition of Reindeer Pasture Plants and Lichens in Nadym District (Yamal-Nenets Autonomous Area)

E. A. Boldyreva

54

The Content of Ash Elements in the Above-Ground Organs of Some *Crataegus* (Rosaceae) Species

S. V. Mukhametova, Yu. P. Demakov, V. I. Talantsev

65

Anthropogenic Effect on Plant Resources

Dependence of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) Radial Growth on Meteorological Conditions and Aerotechnogenic Pollution (Data on the North-West of the Murmansk Region)

I. V. Romashkin, N. V. Genikova, A. M. Kryshen, S. A. Moshnikov, N. V. Polikarpova

76

Plant Community Transformations in Desert Rangeland Ecosystems – Evidence from the North-Western Caspian Lowland

L. P. Rybashlykova, S. Yu. Turko

93

THE GENUS *IRIS* (IRIDACEAE) IN RUSSIA: PHYTOCHEMISTRY, BIOLOGICAL ACTIVITY AND APPLICATION IN TRADITIONAL MEDICINE

© 2023 г. N. B. Alexeeva¹, M. M. Dorofeeva², *, E. A. Varfolomeeva¹, L. N. Mironova³

¹Komarov Botanical Institute, RAS, Saint-Petersburg, Russia

²Saint Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, Russia

³Botanical Garden-Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

*e-mail: drofa88@mail.ru

Received December 20, 2022;

Revised February 1, 2023;

Accepted March 14, 2023

The genus *Iris* in Russia is represented by 41 species, of which 4 species are endemic, 11 are included in the Red Book of the Russian Federation and 30 have various regional conservation status. The review provides information on the phytochemical compounds, biological activity and medicinal properties of 16 species growing in Russia, and on their use in traditional medicine of different peoples. The analysis of available data shows that studying the component composition, biological activity levels, and medicinal use of *Iris* L. species requires their correct identification and the knowledge concerning their geographical distribution, ecology, and morphological characteristics. The use of *Iris* species in traditional medicine is described. The extracts and compounds isolated from the most of the studied species exhibit analgesic, antioxidative, antipyretic, anti-inflammatory, antibacterial and antimicrobial activity. Some species also have cytotoxic, antitumor, anti-diabetic, anti-influenza, neuroprotective, antihyperglycemic, antiallergic, antifeedant and other properties. Most of the isolated metabolites were flavonoids, isoflavonoids, anthocyanes, terpenoids, xanthones, quinones, phenolic and fatty acids. In official and traditional medicine in Asia and Europe, the underground and aboveground parts of *Iris aphylla*, *I. lactea*, *I. pseudacorus*, *I. ruthenica*, *I. sanguinea* and other species of the genus are used. The article results from the long-term studies of irises *in situ* and in the collections of two botanical gardens, as well as extensive examination of literature on the component composition and medicinal properties of the studied species.

Keywords: *Iris*, component composition, biological activity, pharmacological properties, traditional medicine

DOI: 10.31857/S003399462301003X, **EDN:** XXHBZX

Depending on the generic and/or specific concepts of different authors, the genus *Iris* L. (Iridaceae) comprises about 260 species [1], considering both bulbiferous and bulbotuberous plants, or about 180 species [2], if only plants with rhizomes and ensiform leaves are considered. Most species of *Iris* s.l. are distributed in Southwest and Central Asia and the Mediterranean region. According to our data [3], there are 41 species of the genus *Iris* in Russia.

Irises are widely used in the traditional medicine of the peoples of Europe and Asia. Many *Iris* species containing such groups as xanthones are a promising source of natural compounds with antiviral activity, and, thus, the development of therapeutic agents based on them is an urgent issue.

Studying the component composition, biologically active substances, and pharmacological properties of *Iris* L. species, the researcher should be familiar with their geographical distribution, ecology, morphological characteristics, and indicate the origin of plant material and who identified it [4–6].

The analysis of 16 species (Table 1), which component composition and medicinal properties were studied, showed that the works of the following authors reflected the taxonomic discrepancy for species from the subgenus *Apogon*: in section *Limniris* – *I. ensata* Thunb., and in section *Haloiris* – *I. biglumis* Vahl., *I. lactea* Pall., *I. oxypetala* Bunge, *I. pallasii* Fisch.

I. ensata Thunb. was described in 1794 by Thunberg [7] from Japan and corresponds to *I. kaempheri* Sieb., and Thunberg's binomial *I. ensata* is a priority and bears no relationship to the continental saline irises [8].

In the Schroeter's summary [9], the description of *I. ensata* (*I. pallasii* Fisch. var. *chinensis* Fisch.) contains information on two different species, namely, *I. ensata* and also *I. oxypetala*, since it is known that the variety *I. pallasii* var. *chinensis* is a synonym of *I. oxypetala* and belongs to the group of halophytic species, as well as *I. lactea*. *I. oxypetala* Bunge was described from the northeast of China [10].

Table 1. The most important species from the genus *Iris* (Russia), their origin, and environmental demands

Section	Species	Origin	Environment
Subgenus <i>Iris</i> (= Pogon)			
<i>Iris</i>	<i>I. aphylla</i>	Russia: south of the European part. Other regions: Central and Eastern Europe	Dryland
	<i>I. pumila</i>	Russia: south of the European part. Other regions: the east of Central and Southern Europe, Moldova, Ukraine, Transcaucasia and Kazakhstan	Dryland
<i>Oncocyclus</i>	<i>I. acutiloba</i>	Russia: Dagestan. Other regions: Azerbaijan, Northern Iran	Dryland
<i>Psammiris</i>	<i>I. humilis</i>	Russia: south of the European part, Eastern and Western Siberia. Other regions: Kazakhstan, Mongolia and China	Dryland
	<i>I. potaninii</i>	Russia: South of Central and Eastern Siberia. Other regions: Mongolia and China	Dryland
Subgenus <i>Apogon</i>			
<i>Haloiris</i>	<i>I. oxypetala</i>	Russia: Khasansky district of the Primorye Territory. Other regions: China, the Korean peninsula and Afghanistan	Dense saline soils
	<i>I. lactea</i>	Russia: Eastern Siberia (Trans-Baikal Territory). Other regions: North-East Kazakhstan, Mongolia and China	Dense saline soils
	<i>I. biglumis</i> *	Russia: Eastern Siberia, west of the Trans-Baikal Territory. Other regions: Northern Mongolia	Dense saline soils
	<i>I. pallasii</i> *	Russia: Western Siberia. Other regions: North-East Kazakhstan and Mongolia	Dense saline soils
<i>Tenuifolia</i>	<i>I. tenuifolia</i>	Russia: south-east of the European part of Russia, south-western Siberia, the Trans-Baikal Territory. Other regions: Kazakhstan, north-western China and northern and north-eastern Mongolia	Very dry, neutral
<i>Xyridion</i>	<i>I. halophila</i>	Russia: South of the European part of Russia, Krasnodar and Stavropol Territories, Chechnya, Ingushetia, Dagestan and south of Western Siberia. Other regions: Central Europe, Kazakhstan, Mongolia and Afghanistan	Dryland
<i>Limniris</i>	<i>I. ensata</i>	Russia: Yakutia, the Amur Region, South-West of the Khabarovsk Territory, Primorye Territory and the Kuril Islands. Other regions: north-eastern China, the Korean peninsula and Japan	Wetland
	<i>I. laevigata</i>	Russia: Eastern Siberia, Primorye Territory and the Kuril Islands. Other regions: Eastern Mongolia, Northeast China and Japan	Wetland
	<i>I. pseudacorus</i>	Russia: The European part of Russia, Caucasus, Western Siberia. Other regions: Europe, Northern Africa and Asia Minor	Wetland
	<i>I. sanguinea</i>	Russia: Eastern Siberia and the Primorye Territory. Other regions: Mongolia, north-eastern China, the Korean Peninsula and Japan	Wet, moist, or normal
	<i>I. sibirica</i>	Russia: Eastern Europe, the Caucasus, Western and Central Siberia. Other regions: Armenia, Kazakhstan	Wet, moist, or normal
<i>Tripetalae</i>	<i>I. setosa</i>	Russia: Central and Eastern Siberia, the Far East. Other regions: Japan, north-eastern China, the Korean Peninsula, the Pacific coast of North America	From moist to wet
<i>Ioniris</i>	<i>I. ruthenica</i>	Russia: south of Siberia. Other regions: in Asia — Kazakhstan, north-western Mongolia and China; in Europe — the Romanian Carpathians	Slightly dry

* No data on the component composition and biological activity.

Phytochemical studies of the aboveground part of *I. ensata* auc. non. Thunb. [11–16] at Leningrad Chemical and Pharmaceutical Institute (now St. Petersburg State University of Chemical Pharmacy) should be attributed to *I. lactea*. Pall. [17].

In “Plant Resources...” reference book [18, 19], description of *I. ensata* provides information on two different species: *I. ensata* and *I. lactea*, as the distribution of *I. ensata* is indicated in the meadows of the Kuril Islands (Kunashir Island) on saline soils, and in steppes, though there are no steppes on Kunashir Island. Other species from the group of halophytic irises are listed under *I. biglumis* s.l. The taxonomic divergence is also found in the works of modern authors [20].

To avoid errors, in our review 4 saline species of the sect. *Haloiris*, are jointly referred to as *I. lactea* s.l. All works referring to the sect. *Haloiris* are grouped as follows:

I. oxypetala Bunge is mentioned in publications under the following names: *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz., *I. pallasii* Fisch. var. *chinensis* Fisch., and *I. lactea pallasii* Fischer var. *chinensis* [21];

I. lactea Pall. is mentioned in publications as *I. lactea* Pall. var. *lactea*, *I. oxypetala* C.A. Mey, and *I. ensata* Thunb.) [22].

Representatives of the sect. *Haloiris* are widely used in traditional medicine in Russia, China, Mongolia, India and in Tibetan medicine. In traditional medical practice, all parts of *I. lactea* s.l. are utilized. Rhizomes and seeds are used for the treatment of gastroenteritis, hepatitis, fever, kidney disease, and as anti-inflammatory and antixudative agents. Flowers are used for the treatment of gastrointestinal and gallstone diseases, fruits – for wounds, ulcers and burns. All parts of plants are anthelmintic, and produce immunostimulant, anti-inflammatory, cardiotonic and nephroprotective effects [23–27]. Seeds contain compounds that, among others, exhibit anti-inflammatory, antioxidant, antitumor, and antiradiation effects and are used in the treatment of lung cancer, esophageal cancer, head and neck cancer as an antineoplastic agent and radiosensitizer [28–32].

Also, all parts of *I. lactea* s.l. are used in traditional medicine for pneumonia, bronchitis, chronic gastritis and jaundice [24]. Pills or powder, or 3–9 g of decoction of *I. pallasii* var. *chinensis* are used for jaundice, nosebleeds, hematemesis, ulcers and boils, diarrhea, leucorrhoea, pharyngitis, metrorrhagia [33].

Resulting from extensive pharmacological studies carried out at St. Petersburg Chemical and Pharmaceutical Academy, Laktir, a drug in the form of tablets was developed. It has a pronounced anti-inflammatory effect at different stages of inflammation [34].

All species in the sect. *Limniris* have pronounced pharmacological properties. *I. pseudacorus* L. is commonly used in traditional medicine of Europe and Asia, due to its wide distribution in Russia and other countries. Its distribution range covers vast areas from

the middle of taiga to the subtropical zone in Europe, the Caucasus, Western Siberia, North Africa and Asia Minor, as mentioned in numerous publications [5, 9, 18–20, 27, 34, 35].

Rhizomes of *I. pseudacorus* are used in the Tibetan and Chinese medicine as an antipyretic agent. Rhizomes, seeds and flowers are used in the treatment of pneumonia, bronchitis, chronic gastritis, jaundice and other liver diseases. All plant parts, especially the fruit, are considered laxative, anthelmintic, hypnotic, and astringent. Seeds are used as hemostatic agent in gynaecology, for the treatment of wounds, injuries, burns, malignant tumors, carbuncles. In traditional medicine a decoction of a fresh rhizome of *I. pseudacorus* is used as an astringent, tonic, laxative, anti-pneumonia, and anti-stomach ulcer agents, a treatment for urinary diseases, ascites, metrorrhagia, headache and toothache, and as hair growth stimulant. Furthermore, the essence is used for epilepsy, and as topical medication for diathesis, stomatitis, and toothache. It is one of the ingredients of M.N. Zdrenko polyherbal tea, used in anticancer therapy [9, 18, 19, 36–39].

All parts of *I. sanguinea* Donn. and *I. sibirica* L. are used in traditional medicine of Russia and China. A decoction of *I. sanguinea* rhizomes is used for gynecological diseases, has an emetic, laxative, anthelmintic, and antiedemic action, and as topical medication it exhibits hemostatic effect, and is used in wounds, burns and snake bites healing [24, 40–43]. *I. sibirica* is used as an emetic, laxative, pain reliever, and in the treatment of syphilis, gonorrhea and gynecological diseases [24, 40, 41, 44].

In different countries *I. setosa* Pall. is a popular medicinal plant. In Japanese medicine rhizomes of *I. setosa* are used for scabies, a decoction is used for pneumonia, ascites, tonsillitis; and externally – for wounds, ulcers, fistulas, and as antifreckle treatment; in Yakutia, rhizomes are used as an analgesic (for toothache) and emetic, and flowers – to treat skin abscesses [45, 46]. Rhizomes, flowers and seeds of *I. ruthenica* Ker-Gawl. are used as anthelmintic in Tibetan medicine [47].

In the literature the use of the species in the subgenera *Iris* (= *Pogoniris*) sect. *Iris* and *Psammiris* in traditional medicine is documented. An extract of *I. aphylla* L. exhibit antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and antiallergic activity [48–50]. Rhizomes and leaves of *I. pumila* L. exert antifungal and detoxifying activity [51, 52]. Rhizomes, seeds and flowers of *I. humilis* Georgii are used in Tibetan medicine: the rhizomes reduce intoxication, sepsis, various infectious diseases, and are used as an external hemostatic agent [53, 54]. In Mongolian traditional medicine *I. potaninii* Maxim. is used for the treatment of various diseases, such as bacterial infections, cancer, and inflammation [4].

Table 2. Component composition and biological activity of species *Iris* L.

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>Habiris</i> Doronkin				
<i>I. lactea</i> Pall. (= <i>I. lactea</i> Pull. var. <i>lactea</i> , <i>I. oxypetala</i> C.A. Mey, <i>I. ensata</i> auc. non. Thunb.)	Rhizomes Roots	Xanthones: iriflophenon, iriflophenone 2-<i>O</i>-hexoside, iriflophenone 4-<i>O</i>-hexoside, isomangiferin, mangiferin, nigricansiden, 4-<i>O</i>-methyliriflophenon, 7-<i>O</i>-methylisomangiferin, 7-<i>O</i>-methylmangiferin, bellidifolin [73]. Phenolic acids: vanillic, <i>trans</i>-cinnamic, salicylic, <i>p</i>-hydroxybenzoic, protocatechuic, ferulic, caffeic [73]. Phenols: 3-hydroxy-5-methoxyacetophenone, apocynin [73]. Flavonoids and isoflavonoids: apigenin 8-<i>C</i>-(2''-pentosyl)-hexoside, apigenin-6,8-di-<i>C</i>-arabinoxide, luteolin 7-<i>O</i>-(2''-<i>p</i>-coumaroyl)-rhamnoside, iriflophenone 4-<i>O</i>-(6''-acetyl)-hexoside, 4-methyltectorigenin-7-glucoside, 6,4'-dimethoxy-5-hydroxyflavone-7-glucoside, iridin, irilin A, irilin B, irilin D, iristectorigenin A, iristectorigenin A 7-<i>O</i>-hexuronide, iristectorigenin B, irigenin, irigenin S, iristectorin A, iristectorin B, iristectoridin B, irisdichotin A, irisdichotin C, irilone A, irilone B, irilone 4'-<i>O</i>-hexoside, irilone 4'-<i>O</i>-β-d-glucopyranoside, irilone 4'-<i>O</i>-(6''-hexosyl)-hexoside, irilone 4'-<i>O</i>-β-d-glucopyranoside-(2→1)-l-rhamnoside, irilone 4'-<i>O</i>-(6''-(3-hydroxy-3-methylglutaryl))-hexoside, irisolidone, irisolidone 7-<i>O</i>-hexoside, irisolidone-7-<i>O</i>-α-<i>D</i>-glucoside, irisflorelin a, irisflorelin b, irifloside, irisflorelin-4'-<i>O</i>-(β-<i>D</i>-glucopyranosyl)-(1→6)β-<i>D</i>-glucopyranoside], iriskumaonin methyl ether, 6,3',4'-trimethoxy-7,8,5'-trihydroxyisoflavone, 5-methoxy-4'-hydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone, 4',7-di-<i>O</i>-methylidihydroquercetin-5,3',3'-trihydroxy-7,4'-dimethoxyflavanone, 7,4'-dimethoxy-8,3',5'-trihydroxy-6-<i>O</i>-β-<i>D</i>-glucopyranosylisoflavon, dichotomin, genistein, germanin B, isoschaftoside, nigricin, schaftoside, swertiajaponin, tectoridin, tectorigenin [73]. Terpenoids: α-dehydroirigermanal, 22,23-epoxy-10-deoxy-21-hydroxyiridal, 22,23-epoxy-iridal, isoiridogermanal, belamcandal, iridotectoral A, iridotectoral B, iridal, α-irigermanal, amorphin, α-murolene, β-gujunene, γ-elemene, iriversical [73]. Fatty acids: myristic, lauric, palmitic, stearic [73]. Steroids: stigmasterol, stigmasterol-3-<i>O</i>-b-<i>D</i>-glucopyranoside, 7-β-hydroxystigmast-4-en-3-one [73]. Quinones: irisoquin B [73].	<i>In Mongolian medicine</i>, the plant was used as an anthelmintic agent; in <i>Transbaikalia</i> – for infectious and viral diseases [25]. <i>In Tibetan medicine</i> – for kidney diseases (rhizomes), gastrointestinal diseases (flowers), and wounds (topical ointment from fruits) [27]. <i>In China</i> – for cough and cold, liver disorders, seeds and flowers – as antipyretic and detoxifier [77], as a hemostatic and anticolic agent [78]. <i>In India</i> <i>I. lactea</i> is known as “Teshmentok” and whole plant is used as green fodder supplement increasing milk production in cattle [79]. <i>In Trans-Himalayan Region</i> <i>I. lactea</i> is known as “Dres-ma”, whole plant is dried and powdered, <i>decoction</i> is taken orally to improve appetite, as stomach and small and large intestinal cramps reliever, and as food-poisoning remedy [80]. The <i>dry extract</i> of <i>I. lactea herb</i> is nontoxic and produces immunostimulating, anti-inflammatory, cardiotoxic and nephroprotective effects. Extract has an antioxidant effect in toxic hepatitis [26, 34, 81–87]. <i>Dry extract of the rhizomes and roots</i> has anti-inflammatory and antixudative properties in pulmonary edema [88]. <i>Methanol extracts from leaves and rhizomes</i> inhibits the adhesion of gram-positive (<i>Staphylococcus aureus</i>) and gram-negative (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>) bacteria as well as the dental plaque multispecies biofilm [73]. <i>Embinin</i> from the <i>aqueous extract</i> of <i>I. lactea</i> aerial parts has an inhibitory effect on the proliferative activity of lymphocytes [89]. <i>Embinin</i> exhibits high anti-influenza activity [25]. A technology for obtaining tincture and syrup with <i>I. lactea</i> extract was developed [90, 91].	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 25, 26, 27, 34, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91
	Aerial parts	Xanthones: mangiferin, isomangiferin [13, 14, 25, 26]. Phenolic acids: ferulic, <i>n</i>-coumaric, vanillic, <i>n</i>-hydroxybenzoic [15], caffeic, chlorogenic, neochlorogenic [25], protocatechuic, syringic, gallic, <i>trans</i>-cinnamic [74]. Flavonoids: 6-<i>C</i>-β-<i>D</i>-glucopyranosyl-<i>O</i>-<i>L</i>-rhamnoside, apigenin 7,4'-dimethyl ether [14], orientin, homoorientin (luteolin-6-<i>C</i>-glucoside, isoorientin) [16], luteolin, apigenin, embinin, 4''-acetylbembinin, 2'',4''-diacetylbembinin [25], swertiajaponin [26, 75]. C-glycosylflavones: diacetylbembinin, acetylbembinin, embigenin [17], 4''-<i>O</i>-acetyl-embinin, 2'',4''-<i>O</i>-diacetyl-embinin, 6'',4''-<i>O</i>-diacetyl-embinin [76].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>I. oxypetal</i> Bunge (= <i>I. lactea</i> var. <i>chinesis</i> (Fisch.) Koidz., <i>I. lactea pallasi</i> Fischer var. <i>chinesis</i> , <i>I. pallasi</i> Fisch. var. <i>chinesis</i> Fisch.)	Leaves	Xanthones: iriflophenon, iriflophenone 2- <i>O</i> -hexoside, iriflophenone 4- <i>O</i> -hexoside, isomangiferin, mangiferin, nigricansiden, bellidifolin, 4- <i>O</i> -methyliriflophenon [73]. Phenolic acids: vanillic, <i>trans</i> -cinnamic, salicylic, <i>p</i> -hydroxybenzoic, protocatechuic, ferulic, caffeic [73]. Flavonoids and isoflavonoid: luteolin 7- <i>O</i> -(2''- <i>p</i> -coumaroyl)-rhamnoside, luteolin 6- <i>C</i> -glucoside, luteolin 8- <i>C</i> -hexoside, apigenin 8- <i>C</i> -(2''-hexosyl)-hexoside, apigenin 6- <i>C</i> -hexoside, apigenin 8- <i>C</i> -glucoside, kaempferol 7- <i>O</i> -(6''-rhamnosyl)-hexoside, kaempferol 3- <i>O</i> -galactoside, kaempferol 3- <i>O</i> -glucoside, isoorientin, irilone A, irilin A, irilin B, irilin D, irisolidone, iristectorigenin A, iristectorigenin B, isovitexin, tectorigenin [73]. Terpenoids: α -dehydroirgermanal, 22,23-epoxy-10-deoxy-21-hydroxyiridal, 22,23-epoxyiridal, isoiridogermanal, belamcandal, iridotectoral A, iridotectoral B, spirobicyclic triterpenoid, amorphen, α -muurolene, β -gurjuene, γ -elemene, iridal, α -irgermanal, irisgermanic C [73]. Fatty acids: myristic, lauric, stearic, palmitic [73]. Steroids: stigmastrol-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside, 7- β -hydroxystigmast-4-en-3-one [73]. Quinones: irisoquinone A, irisoquin B, pallasone B, dihydroirisoquinone [73]. Contain some traces of alkaloids, show unclear result for saponins and coumarins [11, 12].		
	Seeds	Phenol derivative: 3-[(<i>Z</i>)-10-heptadecenyl]-4,5-dimethoxyphenol (irishphenol), 3-[(<i>Z</i>)-10-heptadecenyl]-5-methoxyphenol [92]. Benzene derivatives: 3,5-dimethoxy-[(<i>Z</i>)-10-heptadecenyl]benzene, 2-[(<i>Z</i>)-10-heptadecenyl]-4,6-dimethoxyphenol (belamcandaphenol P), 1,2,3,4-tetramethylbenzene, pentamethylbenzene, 1-ethyl-2,4,5-trimethylbenzene [92]. Benzofuran derivatives: 9,9b-di[(<i>Z</i>)-10-heptadecenyl]-4a,8-dihydroxy-2,7-dimethoxy-1,4-dioxo-1,4,4a,9b-tetrahydrodibenzofuran (belamcandone P) [93]. Quinones: pallasone B (dihydroirisoquinone), pallasone C [94, 95], irisoquinone [29, 31, 94, 96], 3-hydroxyirisoquinone [92]. Fatty oils content 12%. Higher fatty acids (%) : decanoic (0.02–0.69), lauric (0.02–0.37), tetradecanoic (myristic) (0.08–1.12), stearic (0.89–36), palmitic (5–8.56), oleic (28.51–37.53), linoleic (41.31–65.35) [33], palmitoleic (0.13), arachidonic (1.72), linolenic (0.26), 11-eicosenoic (0.72), docosanoic (0.40), tricosanoic (0.11), lignoceric (0.24), docosahexanoic (3.18) [92]. Flavan and proanthocyanidin: epicatechin-(4 α →8)-catechin (procyanidin B1), catechin-(4 α →8)-catechin (procyanidin B3), galloocatechin-(4 α →8)-catechin (prodelphinidin B3) [97], catechin, epicatechin-(4 β →6)-catechin (procyanidin B7) [98, 99], 3,4-dihydroxybenzoic acid, 3'- <i>O</i> -(1-hydroxy-6-oxo-2-cyclohexene-1-carboxylic acid ester) of procyanidin B1, 6-[(1S)-3-methoxy-3-oxo-1-(2,4,5-trihydroxyphenyl)propyl]catechin, fisetinidol (4 α ,8)-catechin, epiafzelechin-(4 β →8)-epicatechin, epicatechin, procyanidin A1, nora-thyriol, proanthocyanidin A1, procyanidin B6, (2S,3'R)-9-(5',6'-dihydroxy-2'-hydroxymethyl)-2',3'-dihydrobenzo[b]furan-3-yloxy)-6H-dibenzo[b,d]pyran-6-oe, hopeaphenol, isohopeaphenol, n-butyl pro-lithospermate [100]. Oligostilbenes: vitisin A, viniferin, <i>e</i> -viniferin, vitisin B, vitisin C [100–104], vitisin D, ampelopsin B, <i>cis</i> -vitisin A [105], <i>trans</i> - <i>e</i> -viniferin, vatalbinoside C, <i>cis</i> - <i>e</i> -viniferin-11a,13b- <i>O</i> - β -d-digluco- <i>trans</i> - <i>e</i> -viniferin-13b- <i>O</i> - β -d-glucopyranose, <i>cis</i> -vitisin B-13b- <i>O</i> - β -d-glucopyranoside, <i>cis</i> -vitisin B, <i>cis</i> -vitisin C [99], vitisin A-13- <i>O</i> - β -d-glucoside, hopeaphenol [106].	In Chinese medicine the seeds are known as Ma Lin Zi and used for cold, phlegm, intestinal wind [92], jaundice, strangury, urine cloudiness, inhibited urination (dysuria), intestinal abscess, intestinal worms accumulation, malaria, pharyngitis, toothache, bloody spotting, spontaneous external bleeding, hematochezia, metrorrhagia and metrorrhagia, swelling of sores, scrofula, hernia, hemorrhoids, scalds, snake bites [95]. Also, seeds are used as treatment for malignancies, exhibit blood activating and detoxifying effect, and can be used for the treatment of metrorrhagia and vaginal discharge [28–30]. In Chinese traditional medicine, the dried seeds of <i>I. lactea</i> var. <i>chinesis</i> are used as treatment for jaundice, diarrhoea, leucorrhoea, pharyngitis, inflammation and carbuncles [108]. In traditional medicine seeds are used as a laxative [24, 44], anthelmintic [24, 47], hypnotic [111], astringent [45], tonic and blood purifier agents, and in therapy of syphilis [44]. Also, seeds are used for gynecological diseases [24], as a hemostatic agent [44, 45, 112], for the treatment of wounds [113], injuries [112], burns [23], malignant tumors [113], carbuncles, as a diuretic [44, 113], for dropsy [44, 114], stranguria, jaundice, and as an antidote to poisonous insect and snake bites [112]. Seeds contain compounds, which exhibit various biological effects, including anti-inflammatory, antioxidant, antitumor, and antiradiation ones [32]. Irisquinone capsules extracted from the seed coat have been registered in the Chinese New Drug Conversion Standard and are used as radiosensitizer. Irisquinone isolated from seeds , has been successfully used in lung, esophageal, head and neck cancer therapy as an antineoplastic agent and radiosensitizer [31]. It is effective against transplantable tumors, such as	11, 12, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 42, 44, 45, 47, 62, 71, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115,

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
		Carboxylic acids: acetic acid, hexanoic acid, nonanoic acid. Aldehydes: hexanal, furfural, 2-heptenal, octanal, 5-methylfurfural, 2-octenal, 4-decenal, 1-nonanal, trans-2-nonenal, 5-hydroxymethylfurfural, vanillin. Aromatic alcohol: benzyl alcohol. Fatty alcohols: 1-hexanol, 1-octen-3-ol, 1-octanol, 1-nonen-4-ol, 1-nonanol, 4-phenyl-2-butanol. Heterocyclic compounds: 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine, 4-methylpyridine, 2-furanmethanol, 2-pentylfuran. Terpenes: limonene, <i>trans</i>-geranylgeraniol, squalene, <i>trans</i>-squalene, cycloartan-24-en-1α,2α,3β-triol, lupeol, 2,6-dimethylocta-2,6-diene, (3β,24E)-3-hydroxy-9,19-cyclolanost-24-methylene. Cyclic ether: 2,2-dimethyl-3-(3,7,12,16,20-pentamethyl-3,7,11,15,19-twenty-monopentenyl)-ethylene oxide. Alkanes: dodecane, pentadecane, tridecane, hexadecane, 2,6,10,14-tetramethylpentadecane, <i>n</i>-eicosane, 3-methylpentacosane, <i>n</i>-tetracosane, <i>n</i>-pentacosane, 3-methylpentacosane, <i>n</i>-hexacosane, <i>n</i>-heptacosane, <i>n</i>-octacosane, <i>n</i>-nonacosane. Anhydrides: 3-dodecyl-2,5-furandione. Phosphoric esters: tri-<i>n</i>-butyl phosphate. Carboxylic ester: octyl octanoate. Fatty acid derivative: erucamide. Alkenes: 3-heptylacrolein. Aromatic hydrocarbons: naphthalene, benzothiazole, 2-methylnaphthalene, 1-methylnaphthalene, 1,7-dimethylnaphthalene, 1,5-dimethylnaphthalene, 1,2-dimethylnaphthalene, 1-ethylnaphthalene, γ-nonalactone, 1,2-dimethylindan. Aliphatic hydrocarbons: 1-hexacosene. ketones: 4,7-dimethoxy-1-indanone, benzylacetone. Sterols: campesterol, stigmasterol, β-sitosterol, delta5-avenasterol, betulinicaldehyde, γ-sitosterone [92].	cervical carcinoma U₁₄, lymphosarcoma, hepatoma and Ehrlich ascites carcinoma in mice by peritoneal injection and oral administration. It is also a sensitizer in radiation therapy of cancer [28–30]. The radiosensitizing effect of <i>irisquinon A</i> was detected <i>in vitro</i> against the tumor cell lines U₁₄, S-180V, HeLa, on the mice breast cancer cell lines Ma 7373, and against human intestinal mucadenocarcinoma in hairless mice [28, 115, 116]. The mechanism of this effect was determined to an inhibition of oxygen consumption and depletion of glutathione in tumor cells [116]. In a clinical trial of 558 patients with lung cancer and nasopharyngeal cancer or superficial metastatic cancer during radiotherapy, oral <i>irisquinone A</i> significantly reduced tumor size and prolonged patients' survival [28, 95, 117]. Flavan-3-ol compounds from the <i>seed coat</i> have potential therapeutic benefits in the treatment of human osteoarthritis and for enhancing prostate cancer cell antagonists [101, 118]. Oligostilbenes extracts from the <i>seeds</i> showed potent anti-inflammation activities, exhibited antidiabetic and antilipogenic effects, attenuated hyperglycemia, hyperlipidemia, ameliorated lipid metabolism and attenuated hepatic steatosis in mice [100, 104, 106]. In addition, <i>oligostilbenes</i> isolated from <i>seeds</i> exhibited different bioactivities on adipocytes differentiation and can be useful for the treatment of obesity and obesity-related metabolic diseases. [103]. Vitisin B was a fatty acid synthase inhibitor and exhibited apoptotic effect on human breast cancer cells [102]. In traditional medicine rhizomes, seeds and flowers are used for pneumonia, bronchitis, chronic gastritis [24] and liver diseases [44, 114]. In Tibetan medicine, rhizomes are used as an antipyretic remedy [42, 113]. In Chinese traditional medicine, flowers and roots are used for the treatment of hemorrhoids, ulcer, blood vomiting and stranguria with cloudy discharge, and as an antipyretic agent, the leaves are used as a treatment for pharyngitis and pain in joints of the lower back and legs [119]. Embinin A and irislactin C isolated from the <i>leaves</i> showed weak cytotoxicity against A549 (human lung cancer) cells [109].	116, 117, 118, 119
	Rhizomes Roots	Flavonoids: 5-hydroxy-7-methoxyflavone (tectochrysin), 5,2'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyflavanone, irisoid A, irisoid D [62, 107]. Isoflavones: 5,7-dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone, 4',5-dihydroxy-6,7-dimethoxyisoflavone, 4',5,7-trihydroxy-6-methoxyisoflavone (tectorigenin), 5,3'-dihydroxy-2'-methoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone, 5,2'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone (irisone B) [62, 107]. Fatty acids: heptadecanoic acid [107]. Contain any traces of alkaloids, shown positive result for flavonoids and coumarins [11, 12].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>I. tenuifolia</i> Pall.	Leaves	Flavonoids and isoflavonoid: apigenin 7- <i>O</i> -glucoside-6- <i>C</i> -glucoside, luteolin 6- <i>C</i> - β - <i>D</i> -glucoside, saponaretin, scoparin [32]. C-glycosylflavones: 7- <i>O</i> -(2,4-di- <i>O</i> -acetyl- β - <i>D</i> -Rhap)-6- <i>C</i> -(6- <i>O</i> -acetyl- α -L-Glcp)-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-Glcp (irisilactin A), 6- <i>C</i> -(2,3-di- <i>O</i> -acetyl- α -L-Rhap)-(1 $\rightarrow$ 2)- β - <i>D</i> -Glcp (irisilactin B) [108], 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone-6- <i>C</i> -[<i>O</i> -(α -L-4'''-acetylthamnopyranosyl)-(1 $\rightarrow$ 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside] (embinin A), 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone-6- <i>C</i> -[<i>O</i> -(α -L-2'',4'''-diacetylthamnopyranosyl)-(1 $\rightarrow$ 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside] (embinin B), 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone-6- <i>C</i> -[<i>O</i> -(α -L-3'',4'''-diacetylthamnopyranosyl)-(1 $\rightarrow$ 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside] (embinin C), 5-hydroxy-4'-methoxyflavone-7- <i>O</i> -(β - <i>D</i> -4'''-acetylthamnopyranosyl)-6- <i>C</i> -[<i>O</i> -(α -L-6'''-acetylglucopyranosyl)-(1 $\rightarrow$ 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside] (irisilactin C) [109], swertiajaponin, swertisin 2''- <i>O</i> -rhamnoside-4'- <i>O</i> -glucoside, swertisin 2''- <i>O</i> -(4'''-acetylthamnosside)-4'- <i>O</i> -glucoside, embinin, 2'''-acetyl-embinin, 3'''-acetyl-embinin, the isomer of irisilactin A, the isomer of irisilactin C [32]. Xanthones: neomangiferin, mangiferin, isomangiferin [32, 71].		
	Flowers	Flavonoids: quercetin, kaempferol, isorhamntin [110].		
	<i>Tenuifolia</i> (Diels) Alexeeva			
Whole plant	Flavonoids: tenuifone, izalpinin, alpinone, irilin B, irisone A, irisone B, betavulgarin, 5,7-dihydroxy-2',6'-dimethoxyisoflavone, 2',5'-dihydroxy-6,7'-methylenedioxy Flavanone. Benzene derivatives: tenuifodione. Polynuclear aromatic compounds: arborinone. Steroids: β -sitosterol. Oxygen-containing heterocycles: irisoid A. Alkyl glycosides: ethyl- β - <i>D</i> -glucopyranoside [61].	<i>I. tenuifolia</i> is known as Gres-Mai in Tibetan and Mongolian medicine. The underground parts and seeds are used to treat intoxication, gastric colic, as an anthelmintic agent [53, 54]. The roots and rhizomes are commonly used in traditional Mongolian medicine for the treatment of kidney disorders. A root decoction is used for urethral stones, hypertension caused by adrenal gland diseases, and to relief renal colic and chronic nephritis [122]. Tenuifone, izalpinin and 5,7-dihydroxy-2';6-dimethoxyisoflavone have shown a considerable antioxidant activity [61]. Compounds 3'-hydroxy-5,7-dimethoxy-4-O-2'-cycloflavan and 5,2',3'-trihydroxy-6,7-dimethoxyflavanone have shown a neuroprotective activity [120]. Pretreatment with <i>I. tenuifolia</i> flavonoids from underground parts significantly inhibited H ₂ O ₂ -induced cell death in cortical neurons <i>in vitro</i> [123]. Treatment with ethanol extract of <i>I. tenuifolia</i> either 1 hr prior or immediately after middle cerebral artery occlusion (MCAO) significantly reduced the infarct volume in mice [124]. Flavonoids from rhizomes and roots have shown an antimicrobial activity against fungi, gram-positive and gram-negative bacteria. 5,7,2',3'-tetrahydroxyflavanone was found to possess the highest antibacterial activity against vancomycin resistant <i>Enterococcus faecalis</i> and <i>Mycobacterium vaccae</i> . Isolated compounds and plant crude extract <i>in vitro</i> showed potent inhibitory effect against leukemia cells. 5,2',3'-dihydroxy-6,7-dimethoxyisoflavone was active against both of the leukemia cells K-562 and THP-1 [121].	53, 54, 60, 61, 74, 120, 121, 122, 123, 124	
Rhizomes Roots	Flavonoids and isoflavonoid: 5,2',3'-trihydroxy-6,7'-methylenedioxyflavanone, 5,2'-dihydroxy-6,7'-methylenedioxyflavanone, 5,2',3'-trihydroxy-7'-methoxyflavanone, 5,3'-dihydroxy-7,2'-dimethoxyflavanone [60], 3'-hydroxy-5,7'-dimethoxy-4-O-2'-cycloflavan, 3'-hydroxy-5-methoxy-6,7'-methylenedioxy-4-O-2'-cycloflavan, 5,2',3'-trihydroxy-6,7'-dimethoxyflavanone [120], 5-hydroxy-6,7'-dimethoxyisoflavone-2'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside, 5-methoxy-6,7'-methylenedioxy-4-O-2'-cycloflavan, (2S)-5,7,2',3'-tetrahydroxyflavanone, 5,2',3'-trihydroxy-6,7'-dimethoxyisoflavone, 5,7-dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone, 3,5,3'-trihydroxy-7,2'-dimethoxyflavanol [121]. Steroids: β -sitosterol. Macrolides: monitristenulide [121].			
Aerial parts	Phenolic acids: vanillic, protocatechuic, <i>p</i> -coumaric, <i>m</i> -hydroxybenzoic, ferulic [74].			

Table 2. (Contd.)

[illegible]

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>I. laevigata</i> Fisch. et C.A. Mey.	Rhizomes Roots	<i>Xanthones</i> : mangiferin [159].	<i>In Chinese</i> traditional medicine <i>rhizomes</i> are used as expectorant [113]. <i>In Transbaikalia</i> , root decoction is used for venereal diseases, as a laxative and emetic. <i>Flowers and fresh leaves</i> are used for snake bites (<i>Coluber natrix</i>) [40].	40, 56, 68, 69, 113, 144, 138, 159, 160, 161
	Aerial parts	<i>Xanthones</i> : mangiferin (0.73%) [69].		
	Leaves	<i>Phenolic acids from hydrolyzed</i> : <i>p</i> -coumaric, sinapic, ferulic, caffeic. <i>Anthocyanins</i> : delphinidin, cyanidin [68].		
	Flowers	<i>Anthocyanins</i> : malvidin-3-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-glucoside (ensatin), petunidin-3-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-glucoside (petanin), malvidin 3-rutinoside-5-glucoside, petunidin 3-rutinoside-5-glucoside, delphinidin-3-rutinoside-5-glucoside [56, 138]. <i>C-Glycosylflavone</i> : isovitexin, isovitexin 2"- <i>O</i> -rhamnoside, isovitexin 4'- <i>O</i> -glucoside, isovitexin 4'- <i>O</i> -galactoside, isovitexin X"- <i>O</i> -galactoside, acylated isovitexin X"- <i>O</i> -glucoside, vitexin, isoorientin, swertisin X"- <i>O</i> -rhamnoside, swertisin X"- <i>O</i> -galactoside, vicenin-2, isoscoparin, scoparin 7- <i>O</i> -glucoside, apigenin 6,8-di- <i>C</i> -glycoside [144, 160, 161].		
	Rhizomes Roots	<i>Carbohydrate</i> (%): sucrose (0.3), fructans (4.7) [55]. <i>Triterpenoids</i> : (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i> ,14 <i>S</i> ,26 <i>R</i> -(+)-29-Acetoxy-14,15-dihydro-26-hydroxyspiroirida-15(28),16-dienal; (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i> ,14 <i>S</i> ,26 <i>R</i>)-(+)14,15-Dihydro-26,29-dihydroxyspiroirida-15(28),16-dienal; (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>R</i>)-26ξ-Hydroxy-13ξ-oxaspiroirid-16-enal; (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-13ξ-oxaspiroirid-16-enal [162]; 26-acetoxy-22-methylene-irid-16-enal [162, 163], squalene, α-curcumene, sclareol, eugenol, α-bergamotene, [120]-farnesene, manoyloxide, <i>epi</i> -manoyloxide [164], γ-curcumene, α-bisabolol, β-bisabolene [165]. <i>Higher fatty acids</i> : palmitic, lauric, capric, caproic, myristic [165], ethyl linoleate, ethyl palmitate [164]. <i>Alkanes</i> : heptadecane, hexadecane [164]. <i>Organic acid</i> : shikimic, quinic, malic, succinic, citric, fumaric, lactic [55, 166, 167], gallic, 2,3,5-trihydroxybenzoic, gentisic, <i>p</i> -hydroxybenzoic [168], myristic [129, 169]. <i>Flavonol</i> : 3,6-dimethoxy-5,7-dihydroxyflavone [168], kaempferol, quercetin [170], epigallocatechin, catechin, epicatechin, galocatechin [171], hyperoside [169]. <i>Flavones</i> : apigenin, formononetin, hispidulin [169, 170]. <i>Isoflavonoid</i> : ayamenin A, irilin B, iristectorigenin A, tectorigenin, 5,7-dihydroxy-2',6'-dimethoxyisoflavone, 5,7-dihydroxy-2',6'-dimethoxyisoflavone 7- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glucopyranoside [168], 5,6-dihydroxy-7,8,3',5'-tetramethoxyisoflavone [63], irisolidone, irigenin, iridin [172], irilone, irisolone (nigricin) [173], iristectorigenin B (5,7,4'-trihydroxy-6,3'-dimethoxyisoflavone) [171], tectoridin, nigricin-4'-glucoside, 6,7-dihydroxyisoflavone, 5,7-dihydroxy-4'-methoxyisoflavone [169].		
<i>I. pseudacorus</i> L.	Rhizomes Roots		<i>The extracts of flowers, leaves, roots</i> are active against <i>Bact. abortus</i> Bang [199, 200]. <i>Essential oil</i> from <i>I. pseudacorus</i> contains antibacterial agents active against both gram-positive and gram-negative bacteria [201]. <i>Extracts of leaves and rhizomes</i> have been reported to have antibacterial activity against <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> [202]. <i>Methanolic extracts from rhizomes</i> possessed antibacterial activity against human gram-positive <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>Enterococcus faecalis</i> and gram-negative <i>Pseudomonas aeruginosa</i> and <i>Klebsiella pneumoniae</i> pathogens. <i>Extract from rhizome</i> effectively combats <i>Staphylococcus aureus</i> biofilm [171]. <i>I. pseudacorus</i> non-polar fractions showed potent biofilm inhibitory potential against biofilm formation of methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> and methicillin susceptible <i>Staphylococcus aureus</i> [203]. <i>Methanol extract of I. pseudacorus</i> stimulated alkaline phosphatase activity and collagen type I secretion with a substantial effect on osteoblast proliferation [35]. <i>Rhizome extract</i> exhibits activity against human cancer cell lines, especially against estrogenpositive MCF-7 breast cancer cell line [171].	35, 36, 37, 38, 39, 41, 51, 55, 63, 67, 68, 71, 78, 114, 125, 126, 129, 137, 162, 163, 164, 165, 166, 167,

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
		Xanthones: mangiferin (2-(C-β-D-glucopyranosyl)-1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone), isomangiferin (4-(C-β-D-glucopyranosyl)-1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone), norathyrin (1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone) [174], daidzein, genistein, genistein-7-glucoside [169–171]. Amino acid: methyl-2-pyrrolidone-5-carboxylate, 2-pyrrolidone-5-carboxylic [175], 3-(3-carboxyphenyl)alanine [176, 177], aspartic, lysine, glutamic, arginine, glycine, leucine, threonine, valine, phenylalanine, serine, alanine, isoleucine, histidine, tyrosine, methionine, proline [178]. Hydroxybenzoic acid: gallic, 2,3,5-trihydroxybenzoic, gentisic, <i>p</i>-hydroxybenzoic, protocatechuic [168, 171, 179]. Phenolcarboxylic acids: caffeic, ferulic, chlorogenic, neochlorogenic [170], <i>p</i>-coumaric, <i>trans</i>-cinnamic [169], ellagic [171]. Polysaccharides: water-soluble polysaccharides, pectic substances, hemicellulose A, hemicellulose B. Monosaccharides: glucose, xylose, galactose, mannose, rhamnose, arabinose [39]. Coumarins: coumarin, umbelliferone (7-hydroxycoumarin), herniarin (7-methoxycoumarin), daphnoretin, esculetin, scopoletin, isoscapoletin [180].	In India, <i>I. pseudacorus</i> is used in dysmenorrhoea and leucorrhoea. Juice of the root is used for obstinate coughs and convulsions [129]. In traditional medicine of Belarus, a decoction of the rhizomes is used for gastric ulcers, as a hair growth stimulant [204]. In Ukrainian traditional medicine, peeled and cut rhizomes are used as an emetic, laxative, diuretic, stimulant, expectorant and coating agents. Powder from dried rhizomes is used as a toothpaste ingredient, to relieve toothache in children [37, 41, 174]. In Bulgaria, the rhizomes were used for diabetes [205]. In Russian traditional medicine, a decoction of the rhizomes was used for respiratory infections, pneumonia, diseases of the urinary organs, ascites, scurvy, scrofula, dropsy and epilepsy, as an analgesic for headache and toothache, obstetric, hemostatic for algomenorrhea and metrorrhagia; as a laxative and antidiarrhoeal agent [36, 38, 206, 207]. Rhizomes were used for snake bites [41]. The sap from the rhizomes was used (orally) for epilepsy; locally – for diabetes, toothache, stomatitis [51, 206]. Seeds were used as a coffee substitute [51]. Rhizomes is one of the ingredients of M.N. Zdrenko polyherbal tea used in anticancer therapy [208, 209]. Rhizomes were included in different pharmacopoeias and have been used as a strong purgative agent [210]. In homeopathic medicine, extracts of rhizomes are used for different forms of psychic ailments, migraine, for neuralgia of the trigeminus, in hyperemesis and hyperacidity of the stomach [163, 211]. <i>I. pseudacorus rhizome sap</i> was used by English rural population and administered with buckthorn syrup every one-two hours to treat dropsy [212]. <i>I. pseudacorus</i> was used externally for toothache, scabs and scrofula, internally for hydrops [78]. Dry hydrophilic leaf extract showed pronounced diuretic activity [213]. Underground parts and flowers were used as a tanning agent and yellow dye for leather, wool, paper [126, 214–217]. The larvicidal activity of ethanol leaf extracts on the larvae of <i>Culex pipiens</i> and <i>Aedes caspius</i> mosquitoes were investigated. The miracicidal and cercaricidal properties were tested against <i>Schistosoma mansoni</i> miracidia [218]. Floating treatment wetlands (FTWs) planted with <i>I. pseudacorus</i> uptake nitrogen and phosphorous, and can be used in a temperate climate to overcome problems with excessive algae growth in surface waters in urban and agricultural settings [219].	168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212,
	Leaves	Isoflavonoid: ayamenin A, ayamenin B, iriline B, irilin C, biochanin A, tectorigenin, irilin A, iristectorigenins A, iristectorigenins B, 3'-<i>O</i>-methylorobol, pratensein, genistein [181], ayamenins C, ayamenins D, ayamenin E [182], 5,7,3'-trihydroxy-6-methoxycoumaronochromone, lupinalbin A [181]. Flavanol: galloctechin-4-β-ol [67, 71]. Flavanones: 5,7,2'-trihydroxyflavanone [182]. Dihydroflavonol: alpinone [182], 7-<i>O</i>-methyl(dihydrokaempferol (aromadendrin 7-methyl ether). Flavones: apigenin, luteolin, hispidulin [182, 183]. Anthocyanins: delphinidin, cyanidin [68]. Catechins: (-)-epicatechin. C-glycosides: isovitexin, vitexin, isoorientin, orientin, vicenin-II. Organic acid: protocatechuic, gallic [183]. Xanthones: mangiferin, isomangiferin, mangiferin <i>O</i>-glycoside [71, 183, 184]. Higher fatty acids: myristic, stearic, palmitic, lignocenic, arachidic, behenic, myristoleic, oleic, linoleic, linolenic, erucic, palmitoleic [185]. Phenolic acids: <i>p</i>-coumaric, sinapic, ferulic [68]. Ascorbic acid 80–140 mg% [125].		
	Aerial parts	Isoflavonoid: 5,7-dihydroxy-2',6-dimethoxyisoflavone, irilone [186]. Flavanol: 3,6-dimethoxy-5,7-dihydroxyflavone [186]. Dihydroflavonol: alpinone, <i>trans</i>-3-hydroxy-5,7-dimethoxyflavanone [186].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>I. sanguinea</i> Donn. (= <i>I. orientalis</i> Thunb., <i>I. nerzhinskia</i> Lodd. f. <i>albiflora</i> Honda.	Flowers	Flavonol : isorhamnetin, kaempferol [187]. Carotenoids : β -carotene, lutein, zeaxanthin, violaxanthin [137, 188, 189]. Tannins : 2.82% pyrogallol derivatives [114, 190]. Higher fatty acids : stearic, palmitic, oleic, linoleic, linolenic [191]. The content of lipids has been investigated [191].		213, 214, 215, 216, 217, 218, 219
	Seeds	Quinones : irisquinone; 2-methoxy-6-(pentadec-8-enyl)-1,4-benzoquinone; 2-methoxy-6-pentadecyl-1,4-benzoquinone; 2-methoxy-6-nonadecyl-1,4-benzoquinone; 6-(heptadec-10'-enyl)-5-hydroxy-2-methoxy-1,4-benzoquinone; 5-hydroxy-2-methoxy-6-(pentadecenyl)-1,4-benzoquinone; 5-hydroxy-2-methoxy-6-pentadecyl-1,4-benzoquinone; 3-methoxy-5-(heptadec-10'-enyl)phenol; 3-methoxy-5-(pentadecenyl)phenol; 3-methoxy-5-pentadecylphenol; 5-(heptadec-10'-enyl)-3,4-dimethoxyphenol; 3,4-dimethoxy-5-(pentadecenyl)phenol; 3,4-dimethoxy-5-pentadecylphenol; 3,4-dimethoxy-5-(nonadecenyl)phenol [192–195]. Carbohydrates : glucose, fructose, sucrose, raffinose, stachyose [196]. The content of lipids has been investigated [197].		
	Callus culture	Phenylpropanoids : lavandoside. Neolignan : dehydrodiconiferyl alcohol-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside. Isoflavonoids : tectoridin, tectorigenin, iristectorigenin A [198].		
<i>I. sanguinea</i> Donn. (= <i>I. orientalis</i> Thunb., <i>I. nerzhinskia</i> Lodd. f. <i>albiflora</i> Honda.	Rhizomes	Carbohydrate (%): sucrose (1.6), fructans (7.0), starch (3.2) [55].	<i>In Chinese</i> traditional medicine rhizomes and roots are used to treat furuncles, carbuncles, stomach ache, indigestion, bruises, hemorrhoids, scabies, edema, cirrhotic ascites, difficult urination, constipation [148]. Flowers, seeds and rhizomes have been used in <i>Tibetan medicine</i> [42]. The <i>Nunais</i> used decoction of rhizomes for gynecological diseases and as an emetic and laxative [43]. <i>In Russian</i> traditional medicine rhizomes were used for dropsy and as an anthelmintic agent, externally – as a remedy for burns [24].	24, 42, 43, 55, 56, 71, 95, 148, 220, 221, 222, 223
	Roots			
	Leaves	Flavonols : myricetin, quercetin [71], myricetin 3- <i>O</i> -rhamnoside, quercetin 3- <i>O</i> -rhamnoside [220]. C-Glycosylflavones : swertiajaponin, swertisin 2"- <i>O</i> -glucoside (flavoyamenin), swertisin, isoorientin 2"- <i>O</i> -glucoside, acetylated swertisin 2"- <i>O</i> -glucosides, acetylated swertisin [220].		
<i>I. sanguinea</i> Donn. (= <i>I. orientalis</i> Thunb., <i>I. nerzhinskia</i> Lodd. f. <i>albiflora</i> Honda.	Flowers	C-Glycosylflavones : swertiajaponin, luteoyamenin, swertisin, swertisin 2"- <i>O</i> -glucoside (flavoyamenin) [95, 221, 222], embigenin 2"- <i>O</i> -rhamnoside [223], vicienin-2, swertiajaponin X"- <i>O</i> -hexoside, isoorientin, isovitexin 2"- <i>O</i> -glucoside, isovitexin [220]. Anthocyanins : delphinidin-3-(<i>n</i> -coumaroyl)-rutinoside 5-glucoside, petunidin-3-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-glucoside (petanin), delphinidin-3-rutinoside-5-glucoside, petunidin 3-rutinoside-5-glucoside, malvidin glycoside [56], delphinidin 3- <i>O</i> -(4"- <i>p</i> -coumaroylrhamnosyl)-(1→6)-glucoside]-5- <i>O</i> -glucoside, petunidin 3- <i>O</i> -(4"- <i>p</i> -coumaroylrhamnosyl)-(1→6)-glucoside]-5- <i>O</i> -glucoside [220].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>I. sibirica</i> L.	Rhizomes	Carbohydrate (%): sucrose (2.3), fructans (2.7), starch (2.5) [55].	<i>I. sibirica</i> is considered as an antisyphilitic treatment [78]. <i>In Tibetan</i> medicine, underground parts, flowers and seeds were used for pneumonia, bronchitis, gastritis, gynecological diseases [20]. <i>In Russian</i> traditional medicine underground parts were used for ascites, syphilis, scurvy, as a hemostatic, laxative, anthelmintic [146, 230]. <i>In Siberia</i> , a decoction of the herb was used for heart disease, during pregnancy, for gastrointestinal diseases, and for anthrax [231]. The fruits were used as decoction, and as a wound healing remedy [41]. <i>In the Urals</i> , a whole plant with fruits as decoction or alcoholic infusion was used orally for gastrointestinal diseases and dysentery. The decoction was taken by women after childbirth, and externally as a wound healing agent [232]. <i>In Transbaikalia</i> root decoction was used to treat venereal diseases, as a laxative and emetic agent. Flowers and fresh leaves were used for snake bites (<i>Coluber natrix</i>) [40]. The flowers were used as a green dye [233]. Flower pigments were used as a natural textile dye [234]. <i>In Brazil</i> <i>I. sibirica</i> is known as “Palmeirinha” and its roots are used for diarrhea [235]. Dry and lipophilic extracts from the leaves and rhizomes exhibited an antibacterial activity against <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> and <i>Candida albicans</i> [236].	6, 20, 40, 41, 50, 55, 68, 71, 78, 125, 146, 169, 170, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236
	Roots	Xanthones : mangiferin, daidzein, genistein-7-glucoside [50, 169], formononetin, isomangiferin [170]. Phenolcarboxylic acids : caffeic, gallic, chlorogenic, <i>p</i> -coumaric, ferulic, <i>trans</i> -cinnamic [50, 170]. Flavonoids and isoflavonoid : germanaism B, tectoridin, irisolidone- <i>D</i> -glucoside, nigricin, irigenin, nigricin-4'-glucoside, 6,7-dihydroxyisoflavone, iristectorigenin B, nigricin, 7-hydroxyisoflavone, 5,6-dihydroxy-7,8,3',5'-tetramethoxyisoflavone, 5,7-dihydroxy-4'-methoxyisoflavone [50, 169]. Flavonols : hyperoside, isoquercetin, kaempferol [169], quercetin [170]. Flavones : apigenin. C-Glycosylflavones : apigenin-7-glucoside [169]. Triterpenoids : (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-(+)-26-hydroxyiridal, (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-(+)-17 ξ ,26-dihydroxyiridal, (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-(+)-17 ξ -hydroxyiridal, (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-(+)-10-deoxy-17 ξ -hydroxyiridal [224], 10-deoxy-17-hydroxyiridal, (6 <i>R</i> ,10 <i>S</i> ,11 <i>S</i>)-17,29-didehydroiridal [225]. Higher fatty acids : lauric, myristic, palmitic, palmitoleic, stearic, oleic, linoleic, 9-methyl tetradecenoic, isomyristic, pentadecanoic, 14-methyl palmitoleic, heptadecanoic, 10-octadecadienoic, linolenic, arachic, behenic, tricosyl, lignoceric [6].		
	Flowers	C-Glycosylflavones : 6- <i>C</i> -glucosyl-7- <i>O</i> -methylapigenin (swertisin), 6- <i>C</i> -glucosyl-7- <i>O</i> -methyluteolin (swertiajaponin), 6- <i>C</i> -sophorosyl-7- <i>O</i> -methylapigenin (flavoayamenin, spinosin), 6- <i>C</i> -sophorosyl-7,4'-di- <i>O</i> -methylapigenin (embinoidin) [226].		
	Leaves	Xanthones : mangiferin [227]. Flavonols : quercetin, myricetin [71, 228], epigallocatechin, catechin [227]. Anthocyanins : delphinidin, cyanidin. Phenolic acids : caffeic, <i>p</i> -coumaric, sinapic, ferulic [20, 68, 227]. Higher fatty acids : lauric, palmitic, palmitoleic, stearic, oleic, linoleic, pentadecanoic, heptadecanoic, linolenic, arachic, behenic, tricosyl, lignoceric, hexadecadienoic [6]. Isoflavones : tectorigenin-7- <i>O</i> -hexosyl-4'- <i>O</i> -hexoside, tectorigenin-7- <i>O</i> -dihexoside, dichotomitin, genistein- <i>O</i> -hexoside (genistin), genistin <i>O</i> -hexoside isomer, genistein, tectorigenin, rhamnocitrin, isotectorigenin, tectorigenin- <i>O</i> -hexoside (tectoridin), iristectorigenin B- <i>O</i> -hexoside (iristectorin B), iristectorigenin A- <i>O</i> -hexoside (iristectorin A), iristectorigenin A, iristectorigenin B, irisolidone, irisolidone isomer, irisolidone <i>O</i> -hexoside, irisolidone <i>O</i> -hexoside isomer, irilone, iristectorin B-4'- <i>O</i> -glucoside, irigenin [227]. Flavones : naringenin-7- <i>O</i> -dihexoside (naringin), naringenin, eupatilin, hispidulin, genkwanin (7-methoxyapigenin), dihydrokaempferol, 6,7,3',4'-tetrahydroxyflavone [227]. C-Glycosylflavones : apigenin- <i>C</i> -hexoside (vitexin), 4'- <i>O</i> -methyl-apigenin 8- <i>C</i> -hexoside, apigenin 8- <i>C</i> -(2"-hexosyl)-hexoside [227]. O-glycosylflavones : flavonoid <i>O</i> -dihexoside, chrysoeriol-7- <i>O</i> -hexoside [227]. Ascorbic acid 400 mg% [125].		
	Seeds	Carbohydrates : polysaccharides were composed of D-glucose, D-mannose, D-galactose [229]. Polysaccharide : glucomannan (18%) [55].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
Tripetalae Alexeeva				
<i>I. setosa</i> Pall.	Ariel parts	Xanthones: mangiferin (2.76%) [69].	<i>In Russian</i> traditional medicine a decoction of the rhizomes was used for pneumonia, ascites, and sore throat; externally – for wounds, ulcers, fistulas, and to remove freckles [46]. <i>In Yakutia</i> , the rhizomes were used as an analgesic (for toothaches) and emetic agents. Dried rhizomes were used as an insecticide. A decoction of the rhizomes was used for gastrointestinal diseases [240]. <i>In Japanese</i> medicine, the powdered rhizomes were used for scabies [45]. <i>Seeds</i> were used as a coffee substitute [46]. The rhizomes were used as a yellow dye [46].	45, 46, 56, 69, 71, 144, 161, 237, 238, 239, 240
	Leaves	C-Glycosylflavones: luteolin 6,8-di- <i>C</i> -glycoside, swertiajaponin, isoswertiajaponin X"- <i>O</i> -rhamnoside, isoswertisin, swertisin X"- <i>O</i> -rhamnoside, isoorientin, isovitexin, orientin, vitexin, vicenin-2, isovitexin 4'- <i>O</i> -glucoside, swertisin [237, 238]. Xanthones: mangiferin, isomangiferin [71, 237].		
	Flowers	Anthocyanin: malvidin 3- <i>O</i> -[(4"- <i>p</i> -coumaroylrhamnosyl)-(1→6)-glucoside]-5- <i>O</i> -glucoside, malvidin glycoside, petunidin 3- <i>O</i> -[(4"- <i>p</i> -coumaroylrhamnosyl)-(1→6)-glucoside]-5- <i>O</i> -glucoside, delphinidin hexoside [237, 239], delphinidin 3- <i>O</i> -rutinoside-5- <i>O</i> -glucoside, delphinidin 3- <i>O</i> -(<i>p</i> -coumaroylrutinoside)-5- <i>O</i> -glucoside, petunidin 3- <i>O</i> -rutinoside-5- <i>O</i> -glucoside, malvidin 3- <i>O</i> -rutinoside-5- <i>O</i> -glucoside [56, 161]. C-Glycosylflavones: isovitexin 4'- <i>O</i> -galactoside, vitexin 4'- <i>O</i> -galactoside, isovitexin X"- <i>O</i> -glucoside, swertisin 2"- <i>O</i> -glucoside, isoorientin, isovitexin, orientin, vitexin, vicenin-2, isovitexin 4'- <i>O</i> -glucoside, swertisin [144, 237].		
Ioniris (Spach) Rodion				
<i>I. ruthenica</i> Ker-Gawl.	Rhizomes	Carbohydrate (%): sucrose (1.0), fructans (1.2), starch (3.3) [55]. Content of polysaccharides 1.33% and pectin 2.2% [241]. The presence of saponins [242] and flavonoids [243] has been investigated.	<i>Roots, flowers and seeds</i> are used in <i>Tibetan medicine</i> [146]. The flowers are used as an anthelmintic agent [47]. <i>A decoction of the roots</i> , pre-dried, are used for gynecological diseases [244].	47, 55, 68, 146, 241, 242, 243, 244
	Leaves	Phenolic acids from hydrolyzed: <i>p</i> -coumaric, sinapic, ferulic [68]. Content of polysaccharides 3.5% and pectin 3.1% [241].		
Oncocyclus (Siemss.) Baker				
<i>I. acutiloba</i> C. A. Mey (<i>I. ewbankiana</i> Foster)	Rhizomes	Carbohydrate (%): sucrose (2.5), starch (11.8) [55]. Higher fatty acids: capric, lauric, myristic, stearic, palmitic, oleic, linoleic, linolenic [245].	The essential extract exhibits antibacterial activity [246].	55, 125, 245, 246
	Leaves	Ascorbic acid 280–391 mg% [125].		
Iris				
<i>I. aphylla</i> L. (= <i>I. hungarica</i> Waldst. et Kit.)	Rhizomes	Xanthones: mangiferin, isomangiferin [50, 170, 247]. Phenolcarboxylic acids: <i>n</i> -coumaric, chlorogenic, cinnamic, caffeic [50], <i>trans</i> -cinnamic [169], gallic [170]. Flavonoids and isoflavonoid: 7,4'-dihydroxyisoflavone (daidzein), 7-hydroxy-4'-methoxyisoflavone (formononetin), 5,7,4'-trihydroxyisoflavone (genistein), 5,7,4'-trihydroxy-6-methoxyisoflavone (tectorigenin), 4',5'-dihydro-6-methoxy-7-(<i>O</i> -β- <i>D</i> -glucoside)isoflavone (tectordin), germanais B, irisolidone- <i>D</i> -glucoside, irisolidone, nigricin, irigenin, 5,6-dihydroxy-7,8,3',5'-tetramethoxyisoflavone [50, 247], 5,7,4'-trihydroxy-6,3'-di-methoxyisoflavone (iristectorigenin B), iristectorigenin B-7- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glucoside (iristectorin B) [170], nigricin-4'-glucoside [169, 170].	<i>The essential extract</i> exhibits antibacterial activity [48, 49]. 1% dry rhizome extract has shown the highest inhibitory activity for gram-positive bacteria and fungi [247]. The dry extract of the leaves at the concentration 1% has a more pronounced antibacterial activity than the extract of the rhizomes and is the most susceptible to gram-negative bacteria – <i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . The lipophilic extracts of the leaves and rhizomes were more susceptible to gram-positive bacteria [236].	48, 49, 50, 68, 125, 169, 170, 236, 247, 248, 249

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
	Leaves	Xanthone: mangiferin [68]. Phenolic acids: <i>p</i>-coumaric, ferulic [68], syringic, <i>p</i>-hydroxybenzoic, vanillic [248]. Carboxylic acids: oxalic, malonic, fumaric, methoxysuccinic, succinic, 3-oxo-2-methylglutaric, malic, suberinic, azelaic, citric [248]. Ascorbic acid 450 mg% [125].	Aqueous and ethanol extract of rhizomes showed a potent antioxidant capacity, anti-inflammatory and antiallergic activity. Aqueous extract of rhizomes showed inhibitory effect on the lipid droplets in Huh7 liver cells. Ethanol extract of rhizomes was effective against both melanoma (ICR39) and triple-negative breast cancer (MDA-MB-231) cells [50]. Dry extracts of leaves and rhizomes showed an anabolic activity, reduced urea excretion, normalized metabolism, restored nitrogen balance, and inhibited protein catabolism in rats [249].	41, 51, 52, 55, 69, 71, 125, 250, 251
<i>I. pumila</i> L.	Rhizomes	Carbohydrate (%): sucrose (2.0), starch (5.0) [55]. Xanthones: iriflophenone 4-<i>O</i>-hexoside, 7-<i>O</i>-methyl-mangiferin, isomangiferin, 7-<i>O</i>-methyl-isomangiferin, iriflophenone, 4-<i>O</i>-methyl-iriflophenone, bellidifolin [250]. O-glycosylflavones: luteolin 7-<i>O</i>-(2"-<i>p</i>-coumaroyl)-rhamnoside.	In Russian traditional medicine the rhizomes were used as antifever, emetic [41], and antirabies agent [51]. Rhizomes and leaves show antifungal activity [52].	
	Roots	Isoflavones and derivatives: tectoridin, iristectorin B, iristectorin A, iridin, 7-<i>O</i>-methyl-tectorigenin 4'-<i>O</i>-(6"-hexosyl)-hexoside, irifloside, irilone 4'-<i>O</i>-hexoside, irisolidone 7-<i>O</i>-hexoside, tectorigenin, iristectorigenin A, irigenin, irilone, iriflogenin, irisolidone [250]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 15.5, starch 6.3 [250].		
	Aerial parts	Xanthones: mangiferin (1.28%) [69, 71], isomangiferin, 7-<i>O</i>-methyl-isomangiferin, iriflophenone, 4-<i>O</i>-methyl-iriflophenone, bellidifolin [250]. C-Glycosylflavones: luteolin 6-<i>C</i>-glucoside, apigenin 8-<i>C</i>-glucoside, apigenin 6-<i>C</i>-hexoside, 4'-<i>O</i>-methyl-apigenin 8-<i>C</i>-hexoside, 4'-<i>O</i>-methyl-apigenin 6-<i>C</i>-hexoside [250]. O-glycosylflavones: luteolin 7-<i>O</i>-(2"-<i>p</i>-coumaroyl)-rhamnoside [250]. Isoflavones and derivatives: iristectorin B, iristectorin A, tectorigenin, irilone 4'-<i>O</i>-(3-hydroxy-3-methylglutaryl)-hexoside, iristectorigenin A, irigenin [250]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 18.9, starch 2.3 [250]. Ascorbic acid 411–808 mg% [125].		
	Flowers	Xanthones: mangiferin, isomangiferin, 7-<i>O</i>-methyl-isomangiferin, iriflophenone [250]. C-glycosylflavones: luteolin 8-<i>C</i>-hexoside, luteolin 6-<i>C</i>-glucoside, apigenin 8-<i>C</i>-(2"-hexosyl)-hexoside, apigenin 8-<i>C</i>-(2"-pentosyl)-hexoside, apigenin 8-<i>C</i>-glucoside, apigenin 6-<i>C</i>-hexoside [250]. O-glycosylflavones: kaempferol 7-<i>O</i>-(6"-rhamnosyl)-hexoside [250]. Isoflavones and derivatives: irisolidone 7-<i>O</i>-hexoside [250]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 22.6, starch 1.17 [250]. The composition and relative contents of floral scent components has been investigated [251].		

Table 2. (Contd.)

Species	Plant part	Compounds	Biological activity and use	Ref.
<i>Psammiris</i> (Spach) Taylor				
<i>I. potaninii</i> Mazim.	Under-ground parts	Isoflavone: 7,8,5'-trihydroxy-6,3',4'-trimethoxyisoflavone; 7,4'-dimethoxy-8,3',5'-trihydroxy-6- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranosylisoflavone; 3',4',5'-tetramethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone (irisflorentin); 3'-methoxy-4',5'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone (iriskumaonin); 3',4'-dimethoxy-5',5'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone (dichotomitin); 4',5'-dimethoxy-3-hydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone (iriflogenin); 5'-methoxy-4'-hydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone irisolone (nigracin) [4, 5, 195, 252, 253]. Flavanol: 5,3',3'-trihydroxy-7,4'-dimethoxyflavanone (blumeatin B) [4]. Xanthones: iriflophenone [4, 254].	<i>In Mongolian</i> traditional medicine roots are used for worm and poisoning diseases, wound healing, eye yellowing, drying lymph leakage, and treats stomach and large intestine aches, bacterial infections, cancer, and inflammation. Extract of the underground parts exhibit nephroprotective activity [4, 254, 255].	4, 5, 195, 252, 253, 254, 255
<i>I. humilis</i> Georgii (= <i>I. flavissima</i> Pull.)	Rhizomes Roots	Carbohydrate (%): sucrose (2.3), starch (4.1) [55]. Xanthones: isomangiferin, iriflophenone 4- <i>O</i> -(6"-acetyl)-hexoside, polygalaxanthone III, 7- <i>O</i> -methyl-isomangiferin, iriflophenone, 4- <i>O</i> -methyl-iriflophenone [250]. O-glycosylflavones: irisdichotin B [250]. Isoflavones and derivatives: irilone 4'- <i>O</i> -(6"-hexosyl)-hexoside, iridin, dichotomitin 3'- <i>O</i> -(6"-hexosyl)-hexoside, 7- <i>O</i> -methyl-tectorigenin 4'- <i>O</i> -(6"-hexosyl)-hexoside, nigracin 4'- <i>O</i> -(6"-hydroxy-3-methylglutaryl)-hexoside, irifloside, irilone 4'- <i>O</i> -hexoside, irisolidone 7- <i>O</i> -hexoside, tectorigenin, dichotomitin 3'- <i>O</i> -hexoside, irigenin [250]. Phenolic acids: protocatechuic, <i>p</i> -hydroxybenzoic, vanillic, syringic, <i>p</i> -coumaric, ferulic [74]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 9.9, starch 12.0 [250].	The infusion was used as lotion for breast tumors [256]. <i>In Tibetan</i> medicine, the underground parts and seeds are used for intoxication, gastric colic, as an anthelmintic and antibacterial agents [53, 54]. <i>In Mongolian</i> medicine, flowers and roots were used as a hemostatic agent (externally), for blood diseases, and osteoalgia [27, 257]. Rhizomes were used for sepsis, various infectious diseases and as an external hemostatic agent [9, 258].	9, 27, 53, 54, 55, 68, 71, 74, 250, 256, 257, 258
	Aerial parts	Xanthones: isomangiferin [250]. O-glycosylflavones: kaempferol 3- <i>O</i> -galactoside, kaempferol 3- <i>O</i> -glucoside [250]. Isoflavones and derivatives: iristectorigenin A 7- <i>O</i> -hexuronide, tectorigenin, iristectorigenin A [250]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 29.7, starch 1.1 [250].		
	Leaves	Flavanol: quercetin [68]. Xanthone: mangiferin [71]. Anthocyanins: cyanidin [68]. Phenolic acids: caffeic, <i>p</i> -coumaric, sinapic, ferulic [68].		
	Flowers	Xanthones: mangiferin, isomangiferin [250]. O-glycosylflavones: quercetin 3- <i>O</i> -galactoside, isorhamnetin 3- <i>O</i> -(2"-rhamnosyl)-hexoside, quercetin 3- <i>O</i> -glucoside, isorhamnetin 3- <i>O</i> -(6"-rhamnosyl)-hexoside, kaempferol 3- <i>O</i> -galactoside, kaempferol 7- <i>O</i> -(6"-rhamnosyl)-hexoside, isorhamnetin 3- <i>O</i> -galactoside, isorhamnetin 3- <i>O</i> -glucoside [250]. Content (mg/g of dry weight) of soluble sugars 23.0, starch 1.1 [250].		

In more detail, the pharmacological and useful properties of *Iris* species are presented in Table 2. Moreover, it contains data on the compound activity and occurrence in different plant part. A varied content of secondary metabolites in irises increases their medicinal importance.

Almost all flavonoid derivatives are present in all plant parts: in rhizomes, leaves, flowers and seeds of *I. lactea*, *I. oxipetala*, *I. tenuifolia*, *I. pseudacorus*, *I. sanguinea*, *I. sibirica*, *I. setosa*, *I. aphylla*, *I. pumila*, *I. potaninii*, *I. humilis* [15, 16, 35, 55–67].

It is worth to mention *I. aphylla*, *I. lactea* s.l., *I. pseudacorus*, *I. ruthenica*, *I. setosa*, *I. ensata*, *I. laevigata* from the aboveground parts of which mangiferin was isolated [13, 68–71].

Species of the genus *Iris* biosynthesize secondary metabolites of various classes, of which isoflavonoids and flavonoids are especially important. Such polyphenolic compounds most often act as phytoalexins, protecting plants from adverse effects of the environment [72].

Thus, this review shows that the genus *Iris* belongs to the number of genera are actively studied in the context of the chemical diversity and biological acti-

vity. It should be recognized that most of the information is related to *I. lactea* s.l., *I. oxypetala*, *I. ensata*, *I. pseudacorus* and *I. tenuifolia* and, to a lesser extent, to other species of the genus. Nevertheless, the wide spectrum of biological activity in some *Iris* species in presence of a very diverse set of biologically active compounds makes this genus promising for further research. It can be assumed that closely related species, which are poorly or not studied, have similar properties: *I. colchica* Kem.-Nat., *I. furcata* Bieb., *I. glaucescens* Bunge, *I. klattii* Kem.-Nat., *I. lokiae* Alexeeva, *I. loczyi* Kanitz, *I. uniflora* Pall.

Therefore, based on the analysis of the literature data, a wide range of pharmacological effects of the species of the genus *Iris* in Russia has been established. Species promising for further in-depth chemical and pharmacological study have been identified.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was carried out within the framework of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences research project № 122011900031-0.

REFERENCES

1. Mathew B. 1981. The *Iris*. London. 202 p.
2. Rodionenko G.I. 1987. The genus *Iris* L. (questions of morphology biology, evolution and systematics). London. 222 p.
3. Alexeeva N.B. 2020. *Iris* L. (Iridaceae Juss.) in Russia. Saint-Petersburg. 232 p. (In Russian, English)
4. Purev O., Purevsuren C., Narantuya S., Lkhagvasuren S., Mizukami H., Nagatsu A. 2002. New isoflavones and flavanol from *Iris potaninii*. — Chem. Pharm. Bull. (Tokyo). 50(10): 1367–1369. <https://doi.org/10.1248/cpb.50.1367>
5. Kaššák P. 2012. Secondary metabolites of the chosen genus *Iris* species. — Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun. 60(8): 32. <https://doi.org/10.11118/actaun201260080269>
6. Mykhailenko O., Kovalyov V., Kovalyov S., Toryanik E., Osolodchenko T., Buidin Y. 2017a (2018). Fatty acid composition of lipids of *Iris sibirica*. — Čes. slov. Farm. 66(5): 220–226. <https://www.prolekare.cz/en/journals/czech-and-slovak-pharmacy/2017-5-7/fatty-acid-composition-of-lipids-of-iris-sibirica-63385>
7. Thunberg C.P. 1794. Botanical observation on the flora Japonica. — Trans. Linn. Soc. Lond. 2: 326–342. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1794.tb00268.x>
8. Grubov V.I. 1970. [Critical Remarks on the taxonomy and nomenclature of some species of iris. Flora of the USSR]. — Novitates systematicae plantarum vascularium. 6: 29–37. (In Russian)
9. Schroeter A.I. 1975. [Medicinal flora of the Soviet Far East]. Moscow. 328 p. (In Russian) <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/lekflora/index.htm>
10. Bunge A.A. 1833. Enumeratio plantarum, quas in China boreali collegit Dr. Al. Bunge: Anno 1831. St. Petersburg. 79 p.
11. Blinova K.F., Stukkey K.L. 1960. [Pharmacognostic study of the medicinal plants in Tibetan medicine: I]. — In: [Trudy Leningradskogo Khimiko-Farmatsevticheskogo Instituta. Voprosy Farmakognozii. 1]. Vol. 12. Leningrad. P. 135–155. (In Russian)
12. Blinova K.F., Stukkey K.L. 1964. [Pharmacognostic study of the medicinal plants in Tibetan medicine: II]. — In: [Trudy Leningradskogo Khimiko-Farmatsevticheskogo Instituta. Voprosy Farmakognozii. 2]. Vol. 17. Leningrad. 173–190. (In Russian)
13. Blinova K.F., Kalyupanova N.I. 1974. Xanthone glycosides of *Iris ensata*. — Chem. Nat. Compd. 10(4): 551. <https://doi.org/10.1007/BF00563849>
14. Blinova K.F., Glyzin V.I., Pryakhina N.I. 1977. A C glycoside from *Iris ensata*. — Chem. Nat. Compd. 13(1): 104. <https://doi.org/10.1007/BF00566189>
15. Pryakhina N.I., Blinova K.F. 1979. Phenolic acids of *Iris ensata*. — Chem. Nat. Compd. 15: 768. <https://doi.org/10.1007/BF00565598>

16. Pryakhina N.I., Blinova K.F. 1984. Luteolin C-glycosides from *Iris ensata*. — Chem. Nat. Compd. 20(1): 107. <https://doi.org/10.1007/BF00574811>
17. Pryakhina N.I., Sheichenko V.I., Blinova K.F. 1984. Acylated C-glycosides of *Iris lactea*. — Chem. Nat. Compd. 20(5): 554–559. <https://doi.org/10.1007/BF00580064>
18. [Plant Resources of Russia and neighboring states: Flowering plants, their chemical composition, use. Vol. 8. (Family Butomaceae – Typhaceae)]. 1994. Saint-Petersburg. 272 p. (In Russian)
19. [Plant Resources of Russia: Wild-growing flowering plants, their component composition and biological activity. Vol. 6. (Family Butomaceae – Typhaceae)]. 2014. Saint-Petersburg. 391 p. (In Russian)
20. Tikhomirova L.I., Bazarnova N.G., Mikushina I.V., Dolganova Z.V. 2015. Farmacol-biochemical study of practical use of some members of the genus *Iris* L. (Overview). — Khimija rastitel'nogo syr'ya. 3: 25–34. (In Russian) <https://doi.org/10.14258/jcprm.201503837>
21. WFO: *Iris lactea* Pall. 2023. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000783525>
22. WFO: *Iris oxypetala* Bunge. 2023. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000790813>
23. Varlakov M.N. 1933. [East Sayan Expedition NIHFI (Scientific Research Chemical and Pharmaceutical Institute)]. — Khimiko-Farmatsevticheskaya Promyshlennost. 3: 154–157. (In Russian)
24. Varlakov M.N. 1963. [List of plants of Eastern Transbaikalia used in Tibetan medicine]. — In: [Selected Works]. Moscow. P. 122–169. (In Russian)
25. Pryakhina N.I. 1984. [Phytochemical study of milky iris. — *Iris lactea* Pall.: Diss. ... Cand. (Pharmacology) Sci.] Leningrad. 193 p. (In Russian)
26. Minina S.A., Abu Skhela G.R.I., Astakhova T.V., Pryakhina N.I., Zenkevich I.G., Kosman V.M. 1999. Technology of dry extract production from the above-ground part of milk-white *Iris* herbs (*Iris lactea* Pall.) — Pharm. Chem. J. 3(4): 211–213. <https://doi.org/10.1007/BF02509942>
27. Haidav Ts., Altanchimeg B., Varlamova T.S. 1985. [Medicinal plants in Mongolian medicine]. 2nd ed. Ulaanbaatar. 391 p. (In Russian)
28. Li D.-X., Hao X.-G., Zhang S.-K., Wang S.-X., Liu R.-Y., Ma K.-S., Yu S.-P., Jiang H., Guan J.-F. 1981. Antitumor action and toxicity of 6-methoxy-2-delta10'-cis-heptadecenyl-1,4-benzoquinone (irisquinone). — Acta Pharmacol. Sin. 2(2): 131–134. <http://www.chinaphar.com/article/view/4132> (In Chinese with English summary)
29. Han J. 1988. Traditional Chinese medicine and the search for new antineoplastic drugs. — J. Ethnopharmacol. 24(1): 1–17. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(88\)90135-3](https://doi.org/10.1016/0378-8741(88)90135-3)
30. Han R. 1994. Highlight on the studies of anticancer drugs derived from plants in China. — Stem Cells. 12(1): 53–63. <https://doi.org/10.1002/stem.5530120110>
31. Wang X.W. 1999. Irisquinone: Antineoplastic, radiosensitizer. — Drugs Future. 24: 613–617. <https://doi.org/10.1358/dof.1999.024.06.538308>
32. Chen D., Meng Y., Zhu Y., Wu G., Yuan J., Qin M., Xie G. 2018. Qualitative and Quantitative Analysis of C-glycosyl-flavones of *Iris lactea* Leaves by Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry. — Molecules. 23(12): 3359. <https://doi.org/10.3390/molecules23123359>
33. Zang J., Xia G., Liu X. 1983. Physicochemical properties of Ma Lin Zi (seed of *Iris pallasii*) oil and identification of its fatty acids. — Chinese traditional and herbal drugs (Zhong cao yao). 14(3): 103–105. (In Chinese)
34. Minina S.A., Pryakhina N.I., Chemesova I.I., Chizhikov D.V. 2008. Medicinal preparation from *Iris lactea* for children. — Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal. 42(1): 39–41. <http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/429> (In Russian)
35. Kim J.L., Li H.M., Kim Y.H., Lee Y.J., Shim J.H., Lim S.S., Kang Y.H. 2012. Osteogenic activity of yellow flag iris (*Iris pseudacorus*) extract modulating differentiation of osteoblasts and osteoclasts. — Am. J. Chin. Med. 40(6): 12891305. <https://doi.org/10.1142/S0192415X12500954>
36. Levchuk A.P. 1927. [Hemostatic and uterine agents]. — Bulletin Khimiko-Farmatsevticheskogo NII. 15: 3–79. (In Russian)
37. Chopik V.I., Dudchenko L.G., Krasnova A.N. 1983. [Wild useful plants of Ukraine]. Kyiv. 400 p. (In Russian)
38. Chikov P.S. 1989. [Medicinal plants]. 2nd ed. Moscow. 431 p. (In Russian)
39. Tikhomirova E.A., Sorokina A.A., Bubenchikova V.N., Kostikova E.N., Zhilkina V.Yu., Bessonov V.V. 2020. Chemical Composition and Content of Polysaccharides from the Yellow Iris (*Iris pseudacorus* L.) Rhizomes. — Pharmacogn. J. 12(5): 1012–1018. <https://doi.org/10.5530/pj.2020.12.143>
40. Kashin N.I. 1860. [Home-made medication remedies used by Cis-Argun population, and Cis-Argun folk doctors]. — Bulletin of the Russian Geographical Society. 30(11): 121–145. <https://elib.rgo.ru/safe-view/123456789/218937/1/0L8tMTA0NTZfdmVzdG5pa1JHT18zMGNoXzE4NjAucGRm> (In Russian)
41. Deriker V. 1866. [Collection of folk remedies used by healers in Russia]. Saint Petersburg. 258 p. https://www.travolekar.ru/arch/Deriker_1866.pdf (In Russian)

42. Gammerman A.F., Semichov B.V. 1963. [Dictionary of Tibetan-Latin-Russian names of medicinal plant materials used in Tibetan medicine]. Ulan-Ude. 108 p. (In Russian)
43. Vostrikova G.G., Vostrikov P.A. 1971. [Medicine of the Dersu people]. Khabarovsk. 37 p. (In Russian)
44. Chopra R.N., Nayar S.L., Chopra J.C. 1956. Glossary of Indian medicinal plants. New Delhi. 174 p.
45. Sugawara S. 1937. [Plants of Saghalien]. Toyohara. 490 p. (In Japanese)
46. Efremova N.A. 1967. Medicinal plants of Kamchatka and the Commander Islands. Petropavlovsk-Kamchatsky. 123 p. (In Russian)
47. Semichov B.V. 1958. [On some herbal products of Indo-Tibetan medicine growing in the Buryat-Mongolian ASSR]. — In: [Local studies of the Buryat-Mongolian branch of the Geographical Society of the USSR]. Issue. 2. Ulan-Ude. P. 158–162. (In Russian)
48. Bondarenko A.S., Aizenman B.E., Shvaiger M.O., Mandrik T.P., Bredikhina A.N. 1964. [Antimicrobial activity of some plants]. — [Phytoncides in the national economy]. Kyiv. P. 170–179. (In Russian)
49. Poroshina G.I. 1964. [Influence of some plant antibiotics on lactic acid bacteria]. — [Phytoncides in the national economy]. Kyiv. P. 146–153. (In Russian)
50. Mykhailenko O., Korinek M., Ivanauskas L., Bezruk I., Myhal A., Petrikaitė V., El-Shazly M., Lin G.-H., Lin C.-Y., Yen C.-H., Chen B.-H., Georgiyants V., Hwang T.-L. 2020. Qualitative and Quantitative Analysis of Ukrainian *Iris* Species: A Fresh Look on Their Antioxidant Content and Biological Activities. — *Molecules*. 25(19): 4588.
<https://doi.org/10.3390/molecules25194588>
51. Annenkov N.I. 1878. [Botanical Dictionary]. 2nd ed. Saint Petersburg. 645 p. (In Russian)
52. Petrusheva N.I. 1957. [Fungicidal properties of higher plants]. — *Bulletin Nauchno-tehnicheskoy Informatsii Nitskogo Botanicheskogo Sada*. 2: 41–46. (In Russian)
53. [“Dzeitshar Migzhan” — the monument of Tibetan medicine]. 1985. Novosibirsk. 88 p. (In Russian)
54. [Plants of Tibetan medicine: the pharmacognostic research experience]. 1989. Novosibirsk. 159 p. (In Russian)
55. Hegnauer R. 1963. Chemotaxonomie der Pflanzen. Monocotyledonene. B. 2. 540 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9387-9>
56. Ishikura N. 1980. Anthocyanins in iris flowers. — *Experientia*. 36(6): 656–657.
<https://doi.org/10.1007/BF01970120>
57. Harborne J.B., Mabry T.J. 1982. The Flavonoids: advances in research. 744 p.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2915-0>
58. Yabuya T., Yokota K., Adachi T., Nagatomo T. 1983. High-performance liquid chromatographic separation of anthocyanins in the flowers of *Iris ensata* Thunb. — *Bulletin Faculty of Agriculture University of Miyazaki*. 30(1): 7–13. (In Japanese with English summary)
59. Yabuya T., Nakamura M., Iwashina T., Yamaguchi M., Takehara T. 1997. Anthocyanin-flavone copigmentation in bluish purple flowers of Japanese garden iris (*Iris ensata* Thunb.). — *Euphytica*. 98(3): 163–167.
<https://doi.org/10.1023/A:1003152813333>
60. Kojima K., Gombosurengyin P., Ondogyni P., Begzsurengyin D., Zevgeegyn O., Hatano K., Ogiyara Y. 1997. Flavanones from *Iris tenuifolia*. — *Phytochemistry*. 44(4): 711–714.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00596-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00596-1)
61. Choudhary M.I., Hareem S., Siddiqui H., Anjum S., Ali S., Atta-Ur-Rahman, Zaidi M.I. 2008. A benzil and isoflavone from *Iris tenuifolia*. — *Phytochemistry*. 69(9): 1880–1885.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.03.011>
62. Wang H., Cui Y., Zhao C. 2010. Flavonoids of the Genus *Iris* (Iridaceae). — *Mini Rev. Med. Chem.* 10(7): 643–661.
<https://doi.org/10.2174/138955710791384027>
63. Kovalev V.N., Zatylnikova O.A., Kovalev S.V. 2013a. A New Isoflavone from *Iris pseudacorus*. — *Chem. Nat. Compd.* 49(1): 34–35.
<https://doi.org/10.1007/s10600-013-0499-y>
64. Kukula-Koch W., Sienawska E., Widelski J., Urjin O., Głowniak P., Skalicka-Woźniak K. 2015. Major secondary metabolites of *Iris* spp. — *Phytochem. Rev.* 14(1): 51–80.
<https://doi.org/10.1007/s11101-013-9333-1>
65. Wani S.H., Lon S.A., Mustafa M.F., Mir J.I., Qadri R.I., Hassan Q.P. 2017. Evaluation of prominent isoflavonoids of *Iris* plant as futuristic cancer drug components. — *Int. J. Botany Stud.* 2(1): 129–134.
<http://www.botanyjournals.com/archives/2017/vol2/issue1/3-3-45>
66. Zagorulko E.Yu., Ozhigova M.G., Chemesova I.I., Luzhanin V.G. 2018. Quantification of total flavonoid content in the aerial part and in the tincture of *Iris lactea* (Iridaceae). — *Khimija rastitel'nogo syr'ya*. 2: 105–113.
<https://doi.org/> (In Russian)
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023368>
67. Iwashina T., Mizuno T. 2020. Flavonoids and Xanthones From the Genus *Iris*: Phytochemistry, Relationships with Flower Colors and Taxonomy, and Activities and Function. — *Nat. Prod. Commun.* 15(10): 1934578X2093715.
<https://doi.org/10.1177/1934578X20937151>

68. Bate-Smith E.C. 1968. The phenolic constituents of plants and their taxonomic significance: II. Monocotyledons. — Bot. J. Linn. Soc. 60(383): 325–356.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1968.tb00094.x>
69. Denisova O.A., Glyzin V.I., Patudin A.V., Gavrilenko B.D. 1980. Determination of xanthone glycoside mangiferin content in *Iris*, *Gentiana* and *Hedysarum* species. — Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal. 14(12): 76–77. (In Russian)
70. Williams C.A., Harborne J.B. 1985. Biflavonoids, Quinones and Xanthenes as Rare Chemical Markers in the Family Iridaceae. — Zeitschrift Für Naturforschung C. 40(5–6): 325–330.
<https://doi.org/10.1515/znc-1985-5-608>
71. Williams C.A., Harborne J.B., Goldblatt P. 1986. Correlations between phenolic patterns and tribal classification in the family Iridaceae. — Phytochemistry. 25(9): 2135–2154.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(86\)80079-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(86)80079-6)
72. Brooks C.J.W., Watson D.G. 1985. Phytoalexins. — Natural Product Reports. 2(5): 427–459.
<https://doi.org/10.1039/np9850200427>
73. Hoang L., Beneš F., Fenclová M., Kronusová O., Švarcová V., Řehořová K., Baldassarre Švecová E., Vosátka M., Hajšlová J., Kaštanek P., Viktorová J., Ruml T. 2020. Phytochemical Composition and *In Vitro* Biological Activity of *Iris* spp. (Iridaceae): A New Source of Bioactive Constituents for the Inhibition of Oral Bacterial Biofilms. — Antibiotics. 9(7): 403.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics9070403>
74. Machalska A., Skalicka-Woźniak K., Widelski J., Głowniak K., Purevsuren G., Oyun Z., Khishgee D., Urjin B. 2008. Screening for phenolic acids in five species of *Iris* collected in Mongolia. — Acta Chromatogr. 20(2): 259–267.
<https://doi.org/10.1556/ACHrom.20.2008.2.10>
75. Pryakhina N.I., Blinova K.F. 1987. Swertiajaponin from *Iris lactea*. — Chem. Nat. Compd. 23(2): 257–258.
<https://doi.org/10.1007/BF00598780>
76. Whaley A.K., Ebrahim W., El-Neketi M., Ancheeva E. 2017. New acetylated flavone C-glycosides from *Iris lactea*. — Tetrahedron Lett. 58(22): 2171–2173.
<https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2017.04.080>
77. Chang N., Luo Z., Li D., Song H. 2017. Indigenous Uses and Pharmacological Activity of Traditional Medicinal Plants in Mount Taibai, China. — Evid.-Based Complementary Altern. Med. 1–11.
<https://doi.org/10.1155/2017/8329817>
78. Dragendorff G. 1898. Die Heilpflanzen der verschiedenen Völker und Zeiten. Ihre Anwendung, wesentlichen Bestandteile und Geschichte. Stuttgart. 885 p.
79. Chaurasia O.P., Singh B. 2000. An Ethnobotanical Profile on Cold Desert Flora of Nubra Valley (Ladakh). — Bull. Bot. Surv. India. 42: 81–90.
<https://doi.org/https://nelumbo-bis.org/index.php/nlmb/article/view/74263/0>
<https://doi.org/10.20324/nelumbo/v42/2000/74263>
80. Haq S.M., Yaqoob U., Calixto E.S., Rahman I.U., Hashem A., Abd Allah E.F., Alakeel M.A., Alqarawi A.A., Abdalla M., Hassan M., Bussmann R.W., Abbasi A.M., Ur Rahman S., Ijaz F. 2021. Plant Resources Utilization among Different Ethnic Groups of Ladakh in Trans-Himalayan Region. — Biology (Basel). 10(9): 827.
<https://doi.org/10.3390/biology10090827>
81. Melnikova T.I. 1994. [Pharmacological study of the crude extract of milky iris (*Iris lactea* Pall.): Abstr. ... Diss. Cand. (Biology) Sci.]. Saint Petersburg. 20 p. (In Russian)
82. Pastushenkov L.V., Barinov V.A., Frolova N.Yu. et al. 1995. [A new immunomodulatory drug – an extract of milky iris]. — In: [Abstracts of the scientific-practical conference dedicated to the 280th anniversary of the First Naval Hospital “Actual Issues of Naval and Clinical Medicine”]. Saint Petersburg. 205 p. (In Russian)
83. Melnikova T.I., Frolova N.Yu. 1996. [Possibilities of using the drug lactir in chronic renal failure]. — In: [Actual problems of creating new drugs: Proc. of the All-Russian scientific conference]. Saint Petersburg. P. 147. (In Russian)
84. Frolova N.Yu., Melnikova T.I., Placen R.I. 1992. [Pharmacological evaluation of the polyextract of *Iris lactea*]. — In: [Abstracts of the 3rd Ukrainian Conference on Medical Botany: Part 1. Kyiv. 139 p. (In Russian)]
85. Gamal R. 1996. [Technology and analysis of tableted dry extract of milky iris (*Iris lactea* Pall.): Abstr. ... Diss. Cand. (Pharmacology) Sci.]. Saint Petersburg. 21 p. (In Russian)
86. Aroyan M.V., Kaukhova I.E., Goncharova S.B. 2017. Determination of merchandising parameters of *Iris lactea* crude sample. — Research results in biomedicine. 3(4): 17–20. (In Russian)
<https://doi.org/10.18413/2313-8955-2017-3-4-17-20>
87. Luzhanin V.G., Whaley A.K., Ponkratova A.O., Zhokhova E.V., Zingalyuk M.A., Pryakhina N.I. 2021. Iris milky-white (*Iris lactea* Pall.) – a promising source of biologically active substances. — Khimija rastitel'nogo syr'ja. 3: 5–17. (In Russian)
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2021038890>
88. Astakhova T.V., Pryakhina N.I., Minina S.A., Ismailov G.R. 1994. [On the issue of obtaining and analyzing a dry extract of *Iris lactea* Pall.]. — In: [Solving urgent problems of pharmacy at the present stage: Abstracts of the scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Research Institute of Pharmacy]. Moscow. 240 p. (In Russian)

89. Bychkova N.V., Kalashnikova A.A., Waley A.K., Luzhanin V.G., Kalinina N.M., Shustov E.B., Okovity S.V. 2019. [Study of the immunotropic effects of flavone glycoside embinin by flow cytometry]. — Preventive and Clinical Medicine. 4(73): 77–82. https://profclinmed.szgmu.ru/PIK_4-2019.pdf (In Russian)
90. Astakhova T.V., Pryakhina N.I., Lanina N.E., Zazhigalkina M.V., Chemesova I.I. 2000. [Development of the method for standardizing the syrup with the milk-white iris extract]. — In: [Actual problems of pharmaceutical science and education: Mat. of scientific conf.]. P. 170–171. (In Russian)
91. Lanina N.E. 2003. [Development of technologies for tincture from *Iris lactea* Pall. grass and its standardization: Abstr. ... Diss. Cand. (Pharmacology). Sci.]. Saint Petersburg. 2003. 23 p. (In Russian)
92. Luan Z., Li P., Li D., Meng X., Sun J. 2020. Optimization of Supercritical-CO₂ extraction of *Iris lactea* Seed Oil: Component Analysis and Antioxidant Activity of the Oil. — Ind. Crops Prod. 112553. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112553>
93. Seki K., Haga K., Kaneko R. 1995. Phenols and a dioxotetrahydrodibenzofuran from seeds of *Iris pallasii*. — Phytochemistry. 38(4): 965–973. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00731-8](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00731-8)
94. Wu Sh.-Ch., Chang L., Yang H.-H., Li T.-Y. 1980. Isolation and structural studies of pallasone B and pallasone C. — Yao Hsueh T'ung Pao. 15(8): 43; Chem. Abstrs. 1981. 95: 86202.
95. Zhou J., Xie G., Yan X. 2011. Encyclopedia of traditional Chinese medicines molecular structures, pharmacological activities, natural sources and applications. Vol. 4. Isolated compounds N–S. 636 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16779-9>
96. Wu S.J., Yang Q.Z. 1981. Chemical studies on *Iris pallasii* Fisch. var. *chinensis* Fisch. II. The isolation and structure studies of pallasone B and pallasone C. — Acta Chim. Sinica 39: 767–770.
97. Lv H., Yuan Z., Wang X., Wang Z., Suo Y., Wang H. 2015. Rapid separation of three proanthocyanidin dimers from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz by high-speed counter-current chromatography with continuous sample load and double-pump balancing mode. — Phytochem. Anal. 26(6): 444–453. <https://doi.org/10.1002/pca.2579>
98. Lv H., Ouyang J., Wang X., Ma X., Suo Y., Wang H. 2015. Separation and Purification of Four Flavan-3-ols From *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz by High-Speed Counter-Current Chromatography with Flow-Rate Gradient. — J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol. 38(15): 1486–1493. <https://doi.org/10.1080/10826076.2015.1063506>
99. Kim H.W., Kim S.S., Kang K.B., Ryu B., Park E., Huh J., Jeon W.K., Chae H.-S., Oh W.K., Kim J., Sung S.H., Chin Y.-W. 2020. Combined MS/MS-NMR Annotation Guided Discovery of *Iris lactea* var. *chinensis* Seed as a Source of Viral Neuraminidase Inhibitory Polyphenols. — Molecules. 25(15): 3383. <https://doi.org/10.3390/molecules25153383>
100. Tie F., Wang J., Liang Y., Zhu S., Wang Z., Li G., Wang H. 2020a. Proanthocyanidins Ameliorated Deficits of Lipid Metabolism in Type 2 Diabetes Mellitus Via Inhibiting Adipogenesis and Improving Mitochondrial Function. — Int. J. Mol. Sci. 21(6): 2029. <https://doi.org/10.3390/ijms21062029>
101. Lv H., Wang H., He Y., Ding C., Wang X., Suo Y. 2015a. Separation and purification of four oligostilbenes from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz by high-speed counter-current chromatography. — J. Chromatogr. B. 988: 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2015.02.035>
102. Wang X., Jiang B., Lv H., Liang Y., Ma X. 2019. Vitisin B as a novel fatty acid synthase inhibitor induces human breast cancer cells apoptosis. — Am. J. Transl. Res. 11(8): 5096–5104. <https://e-century.us/files/ajtr/11/8/ajtr0091295.pdf>
103. Tie F.F., Luan G.X., Zhou W.N., Wang Z.H., Shi X.B., Li G., Wang H.L. 2018. Effects of the oligostilbenes from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz on the adipocytes differentiation of 3T3-L1 cells. — Pharmazie. 73(2): 98–103. <https://doi.org/10.1691/ph.2018.7844>
104. Tie F., Li G., Hu N., Li J., Wang Z., Wang H. 2020b. Oligostilbenes extracts from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz improve lipid metabolism in HFD/STZ-induced diabetic mice and inhibit adipogenesis in 3T3-L1 cells. — Biomed. Pharmacother. 131: 110800. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110800>
105. Lv H., Zhou W., Wang X., Wang Z., Suo Y., Wang H. 2016. Extraction and Separation of Vitisin D, Ampelopsin B and cis-Vitisin A from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz by Alkaline Extraction-Acid Precipitation and High-Speed Counter-Current Chromatography. — J. Chromatogr. Sci. 54(5): 744–751. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmv249>
106. Tie F.F., Fu Y.Y., Hu N., Chen Z., Wang H.L. 2022. Isolation of oligostilbenes from *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz and their anti-inflammatory activities. — RSC Adv. 12(51): 32912–32922. <https://doi.org/10.1039/D2RA05176A>
107. Wang X., Qin M.J., Li L., Ye W.C. 2005. Chemical Constituents of Underground Parts of *Iris lactea*. — J. Chi. Pharm. Univ. 36: 517–519. <https://doi.org/10.1002/chin.200505221>

108. Shen W.J., Qin M.J., Shu P., Zhang C.F. 2008. Two new C-glycosylflavones from the leaves of *Iris lactea* var. *chinensis*. — Chinese Chem. Lett. 19: 821–824.
<https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2008.04.031>
109. Meng Y., Qin M., Qi B., Xie G. 2017. Four new C-glycosylflavones from the leaves of *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. — Phytochem. Lett. 22: 33–38.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2017.08.011>
110. Niu Y.F., Shao Y., Zhao X.H., Wen H.X., Tao Y.D. 2008. [RP-hPLC determination of flavonoids in several flowers]. — Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 33(18): 2102–4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19160795/> (In Chinese)
111. Jacobs M.L., Burlage H.M. 1958. Index of plants of North Carolina with reputed medicinal uses. Austin. 322 p.
112. Kimura K., Kimura T. 1970. Medicinal Plants of Japan in Colour. Osaka. 139 p. (In Japanese)
113. Shigemitsu O. 1938. [Medicinal Plant Raw Material]. Tokyo. (In Japanese)
114. Uphof J.C.T. 1968. Dictionary of Economic Plants. Wurzburg. 591 p.
115. Wang S.X., Liu M.F., Yuan L., Zhang W.L., Li D.H. 1986. Effects of irisquinone on cyclic nucleotides in plasma, cancer and other tissues of mice bearing U₁₄ tumor. — Chin. J. Clin. Oncol. 13: 241–243.
116. Li W.M., Wang S.H., Kuang P., Qu B.X., Song H.L., Zhu L.X. 1987. Radiosensitizing effect of an active principle Iq7611 from the seed of *Iris lactea* var. *chinensis*. — Tumor. 7: 97–99.
117. Tang W., Hemm I., Bertram B. 2003. Recent Development of Antitumor Agents from Chinese Herbal Medicines; Part I. Low Molecular Compounds. — Planta Medica. 69(2): 97–108.
<https://doi.org/10.1055/s-2003-37718>
118. Aini H., Ochi H., Iwata M., Okawa A., Koga D., Okazaki M., Sano A., Asou Y. 2012. Procyanidin B3 prevents articular cartilage degeneration and heterotopic cartilage formation in a mouse surgical osteoarthritis model. — PLoS One 7(5): e37728.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037728>
119. The Editorial Committee of Chinese Materia Medica, State Administration of Traditional Chinese Medicine. 1999. — Chinese Materia Medica. 22: 271–275.
120. Cui Y.M., Wang H., Liu Q.R., Han M., Lu Y., Zhao C.Q. 2011. Flavans from *Iris tenuifolia* and their effects on β -amyloid aggregation and neural stem cells proliferation *in vitro*. — Bioorg. Med. Chem. Lett. 21(15): 4400–4403.
<https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2011.06.039>
121. Orton O., Nadmid S., Paetz C., Dahse H.M., Voigt K., Bartram S., Boland W., Dagvadorj E. 2021. Chromane Derivatives from Underground Parts of *Iris tenuifolia* and Their *In Vitro* Antimicrobial, Cytotoxicity and Antiproliferative Evaluation. — Molecules. 26(21): 6705.
<https://doi.org/10.3390/molecules26216705>
122. Ligaa U., Davaasuren B., Ninjil N. 2005. Medicinal Plants of Mongolia Used in Western and Eastern Medicine. Ulaanbaatar. 134 p. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/920761/retrieve>
123. Jalsrai A., Numakawa T., Ooshima Y., Adachi N., Kunugi H. 2014. Phosphatase-Mediated Intracellular Signaling Contributes to Neuroprotection by Flavonoids of *Iris tenuifolia*. — Am. J. Chinese Med. 42(01): 119–130.
<https://doi.org/10.1142/S0192415X14500086>
124. Jalsrai A., Reinhold A., Becker A. 2017. Ethanol *Iris tenuifolia* extract reduces brain damage in a mouse model of cerebral ischaemia. — Phytother. Res. 32(2): 333–339.
<https://doi.org/10.1002/ptr.5981>
125. Pankova P.A. 1949. [Herbaceous plants containing vitamin C]. — In: [Plant raw materials. Proceedings of the Botanical Institute of the Academy of Sciences of the USSR]. 5(2): 292–478. (In Russian)
126. Gubanov I.A., Krylova I.L., Tikhonova V.L. 1976. [Wild useful plants of the USSR]. Moscow. 360 p. (In Russian)
127. Wang Y.Q., Tan J.J., Tan C.H., Jiang S.H., Zhu D.Y. 2003. Halophilols A and B, two new stilbenes from *Iris halophila*. — Planta Med. 69(8): 779–81. PMID:
<https://doi.org/10.1055/s-2003-4279214531035>
128. Kim J.-B., Kim K.-H., Hwang S.-K., Kim Y.-H., Cho K.-J., Hwang Y.-S., Park R.-D., Kim J.-B. 2001. The Composition of Useful Medium Chain Fatty Acids in Eight Plant Species. — J. Appl. Biol. Chem. 44(1): 20–23.
129. Khare C. 2007 Indian Medicinal Plants. New York.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-70638-2_809
130. Bhan M.K., George V., Kapoor R., Rishi A.K. 1976. Chemical investigation of local plants: Part I. — Indian J. Chem., Section B: Organic Chemistry Including Medicinal Chemistry. 14(6): 475–476.
131. Iwashina T., Kamenosono K., Yabuya T. 1996a. Isolation and identification of flavonoid and related compounds as co-pigments from the flowers of *Iris ensata*. — J. Jap. Bot. 71: 281–287.
132. Hayashi K. 1940a. Isolation of Ensatin, an Acylated Anthocyanin from the Flowers of Japanese *Iris*. — Proceedings of the Imperial Academy. 16(9): 478–481.
<https://doi.org/10.2183/pjab1912.16.478>
133. Hayashi K. 1940b. On the Anthocyan in the Flowers of Japanese *Iris*. (Preliminary Note.). — Shokubutsugaku Zasshi. 54(637): 23–28.
<https://doi.org/10.15281/jplantres1887.54.23>

134. Hayashi K. 1941. Studien über Anthocyane, VI. Über Ensatin, ein neues Anthocyanin der Blüten von Japanischen Schwertlilien. — Acta Phytochim. 12: 65–82.
135. Hayashi K., Ootani S., Sato K., Tuyama S., Ishikura N. 1978. Chemotaxonomical studies on Japanese irises in relation to the flavonoids in flowers. — Res. Inst. Evolut. Biol. Sci. Rep. 1: 1–16. (In Japanese with English summary)
136. Ishikura N., Yamamoto E. 1978. Anthocyanins in the flowers of Japanese garden iris belonging to “Higo” line. — Ku-mamoto J. Sci.: Biol. 14: 9–15.
137. Karrer W. 1958. Konstitution und Vorkommen der organischen Pflanzenstoffe (exclusive Alkaloids). Basel-Stuttgart. 1207 s. (In German)
<https://doi.org/10.1007/978-3-0348-6808-2>
138. Yabuya T. 1987. High-performance liquid chromatographic analysis of anthocyanins in induced amphidiploids of *Iris laevigata* Fisch. × *I. ensata* Thunb. — Euphytica. 36(2): 381–387.
<https://doi.org/10.1007/BF00041481>
139. Yabuya T., Nakamura M., Yamasaki A. 1994. P-coumaroyl glycosides of cyanidin and peonidin in the flowers of Japanese garden iris, *Iris ensata* Thunb. — Euphytica. 74: 47–50.
<https://doi.org/10.1007/BF00033766>
140. Yabuya T., Imayama T., Shimomura T., Urushihara R., Yamaguchi M. 2001. New types of major anthocyanins detected in Japanese garden iris and its wild forms. — Euphytica. 118: 253–256.
<https://doi.org/10.1023/A:1017562518106>
141. Imayama T., Yabuya T. 2003. Characterization of Anthocyanins in Flowers of Japanese Garden *Iris*, *Iris ensata* Thunb. — Cytologia. 68(2): 205–210.
<https://doi.org/10.1508/cytologia.68.205>
142. Yabuya T. 1991. High-performance liquid chromatographic analysis of anthocyanins in Japanese garden iris and its wild forms. — Euphytica. 52(3): 215–219.
<https://doi.org/10.1007/BF00029398>
143. Kitahara K., Murai Y., Bang S.W., Kitajima J., Iwashina T., Kaneko Y. 2014. Anthocyanins from the Flowers of Nagai Line of Japanese Garden Iris (*Iris ensata*). — Nat. Prod. Commun. 9(2): 201–204.
<https://doi.org/10.1177/1934578X1400900216>
144. Iwashina T. 2003. Flavonoid function and activity to plants and other organisms. — Biol. Sci. Space. 17(1): 24–44.
<https://doi.org/10.2187/bss.17.24>
145. Boltenkov E.V., Rybin V.G., Zarembo E.V. 2005. Flavones from Callus Tissue of *Iris ensata*. — Chem. Nat. Compd. 41(5): 539–541.
<https://doi.org/10.1007/s10600-005-0200-1>
146. Vereshchagin V.I. 1959. [Useful plants of Western Siberia]. Moscow; Leningrad. 348 p. (In Russian)
147. Pozdneevev A.M. 1908. [Textbook of Tibetan medicine]. Vol. 1. Saint Petersburg. 425 p. (In Russian)
148. Eom T., Kim J., Lee S., Jeong J. 2013. A herbalogical study on the plants of Iridaceae in Korea. — Korean J. Herbology. 28: 85–93.
<https://doi.org/10.6116/kjh.2013.28.3.85>
149. Ghobadi Pour M., Mirazi N., Seif A. 2019. Treatment of liver and spleen illnesses by herbs: Recommendations of Avicenna’s heritage “Canon of Medicine”. — Avicenna J. Phytomed. 9: 101–116.
150. Kumar S., Pandey S. 2015. An ethnobotanical study of local plants and their medicinal importance in Tons river area, Dehradun, Uttarakhand. — Indian J. Trop. Biodiv. 23(2): 227–231.
[https://tfri.icfre.gov.in/IJTB-Journal/IJTB%2023\(2\)%202015/abstract/IJTB-23\(2\)%202015-\(227-231\).pdf](https://tfri.icfre.gov.in/IJTB-Journal/IJTB%2023(2)%202015/abstract/IJTB-23(2)%202015-(227-231).pdf)
151. Singh K.N., Lal B. 2008. Ethnomedicines used against four common ailments by the tribal communities of Lahaul-Spiti in western Himalaya. — J. Ethnopharmacol. 115(1): 147–159.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.09.017>
152. Singh K.N. 2012. Traditional knowledge on ethnobotanical uses of plant biodiversity: a detailed study from the Indian western Himalaya. — Biodiv. Res. Conserv. 28(1): 63–77.
<https://doi.org/10.2478/v10119-012-0028-z>
153. Zaman S., Farrukh H., Muhammad I. 2014. Traditional knowledge on plant resources of Ashezai and Salarzai Valleys, District Buner, Pakistan. — Afr. J. Plant Sci. 8(1): 42–53.
<https://doi.org/10.5897/AJPS12.067>
154. Shuaib M., Hussain F., Rauf A., Jan F., Romman M., Parvez R., Zeb A., Ali S., Abidullah S., Bahadur S., Shah A.A., Azam N., Dilbar S., Begum K., Khan H., Sajjad S., Muhammad I., Shah N.A. 2021. Traditional knowledge about medicinal plant in the remote areas of Wari Tehsil, Dir Upper, Pakistan. — Braz. J. Biol. 83: e246803.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.246803>
155. Kim E.T., Hwang H.S., Lee S.M., Lee S.J., Lee I.D., Lee S.K., Oh da S., Lim J.H., Yoon H.B., Jeong H.Y., Im S.K., Lee S.S. 2016. Effects of Medicinal Herb Extracts on *In vitro* Ruminant Methanogenesis, Microbe Diversity and Fermentation System. — Asian-Australas. J. Anim. Sci. 29(9): 1280–1286.
<https://doi.org/10.5713/ajas.16.0053>

156. Suresh D.K., Ahemad W., Khalid M.S., Aasim S.M. 2010. Anti-hyperglycemic Activity of *Iris ensata* Thunb. Root Extracts in Normal, Glucose Fed and Streptozotocin Induced Diabetic Rats. — Adv. Pharmacol. Toxicol. 11(3): 93–101. <https://www.proquest.com/docview/837356853>
157. Saxena B.P., Srivastava J.B. 1972. Studies on plant extracts with juvenile hormone activity. Effects of *Iris ensata* Thamb. (Iridaceae) on *Dysdercus koenigii* F. (Pyrrhorrhidae). — Experientia. 28(1): 112–113. <https://doi.org/10.1007/BF01928298>
158. Spangler J.T., Sample D.J., Fox L.J., Albano J.P., White S.A. 2019. Assessing nitrogen and phosphorus removal potential of five plant species in floating treatment wetlands receiving simulated nursery runoff. — Environ. Sci. Pollut. Res. 26: 5751–5768. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3964-0>
159. Richardson P.M. 1983. The taxonomic significance of C-glycosylxanthones in flowering plants. — Biochem. Syst. Ecol. 11(4): 371–375. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(83\)90039-X](https://doi.org/10.1016/0305-1978(83)90039-X)
160. Iwashina T., Ootani S. 1996b. Flavonoids in the flowers of *Iris laevigata* (Iridaceae). — Sci. Rep Res Inst Evolut Biol. 8: 41–48.
161. Iwashina T., Ootani S. 1998. Flavonoids of the genus *Iris*: Structures, distribution and function (review). — Ann. Tsukuba Bot Gard. 17: 147–183. https://www.kahaku.go.jp/research/publication/tsukuba/download/17/ATBG17_147.pdf
162. Marner F.-J., Littek A., Arold R., Seferiadis K., Jaenicke L. 1990. Isolation and structure determination of new spiro-bicyclic triterpenoids from *Iris pseudacorus*. — Liebig's Ann. Chem. 6: 563–567. <https://doi.org/10.1002/jlac.1990199001105>
163. Jaenicke L., Marner F.-J. 1986. The Irones and Their Precursors. Fortschritte Der Chemie Organischer Naturstoffe. — In: Progress in the Chemistry of Organic Natural Products. 1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8888-0_1
164. Zatylnikova O.A., Kovalev V.N., Kovalev S.V. 2013. Composition of *Iris pseudacorus* (Iridaceae) Essential Oil. — Rastitelnye resursy. 49(2): 233–240. <https://elibrary.ru/item.asp?id=18925981> (In Russian)
165. Mikhailenko O.A. 2014. [Comparative analysis of the component composition of the essential oil of fresh and dried rhizomes of yellow iris (*Iris pseudacorus*)]. — In: [New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials: Materials of the VI All-Russian Conference]. Barnaul. P. 210–212. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22401392&pff=1> (In Russian)
166. Henshaw G.G., Coult D.A., Boulter D. 1962. Organic acids of the rhizome of *Iris pseudacorus*. — Nature. 194: 579–580. <https://doi.org/10.1038/194579b0>
167. Boulter D., Coult D.A., Henshaw G.G. 1963. Some Effects of Gas Concentrations on Metabolism of the Rhizome of *Iris pseudacorus* L. — Physiol. Plant. 16(3): 541–548. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1963.tb08331.x>
168. Tarbeeva D.V., Fedoreev S.A., Veselova M.V., Kalinovskii A.I., Gorovoi P.G., Vishchuk O.S., Zadorozhnyi P.A. 2015. Polyphenolic Metabolites from *Iris pseudacorus* Roots. — Chem. Nat. Compd. 51(3): 451–455. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1313-9>
169. Mykhailenko O., Gudžinskis Z., Kovalyov V., Desenko V., Ivanauskas L., Bezruk I., Georgiyants V. 2020. Effect of ecological factors on the accumulation of phenolic compounds in *Iris* species from Latvia, Lithuania and Ukraine. — Phytochem. Anal. 31(5): 545–563. <https://doi.org/10.1002/pca.2918>
170. Mykhailenko O.O., Kovalyov M.V. 2016. Phenolic compounds of the genus *Iris* plants (Iridaceae). — Čes. slov. Farm. 65(2): 70–77. <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2016-2-12/fenolicke-slouceniny-rostlin-rodu-iris-iridaceae-58506>
171. Michalak A., Krauze-Baranowska M., Migas P., Kawiak A., Kokotkiewicz A., Królicka A. 2021. *Iris pseudacorus* as an easily accessible source of antibacterial and cytotoxic compounds. — J. Pharm. Biomed. 195: 113863. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113863>
172. Ali A.A., El-Emary N.A., Darwish F.M. 1993. Studies on the constituents of two *Iris* species. — Bull. Pharm. Sci., Assiut Univ. 16(2): 159–162. <https://doi.org/10.21608/bfsa.1993.70202>
173. Isaev D.I., Kerimov U.B., Kovalyov S.V., Zatylnikova O.O. 2010. [Isoflavones from rhizomes of *Iris imbricata* Lindl. and *Iris pseudacorus* L.] — Pharmacom. 1. 38–42. http://sphu.org/wp-content/uploads/2017/01/Farmacom_1_2010.pdf (In Russian)
174. Isaev D.I., Kerimov U.B., Kovalyov S.V., Zatylnikova O.O. 2009. Xanthones from rhizomes of *Iris imbricata* Lindl. and *Iris pseudacorus* L. — Pharmacom. 4: 24–28. http://sphu.org/wp-content/uploads/2017/08/Farmacom_4_2009.pdf (In Russian)
175. Senatore F., Randazzo A., Rigano D. 2003. Pyrrolidin-2-one derivatives from *Iris pseudacorus* (Iridaceae). — Biochem. Syst. Ecol. 31(6): 657–659. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(02\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(02)00228-4)

176. Cardenas M.L., Kickuth R. 1978. Secondary metabolites from macrophytes and their ecochemical function. Part 3. 3-(3-carboxyphenyl)alanine as constituent and excretion product of *Iris pseudacorus*. — *Angew. Bot.* 52: 203–214.
177. Sutherland W.J. 1990. *Iris pseudacorus* L. — *J. Ecol.* 78(3): 833.
<https://doi.org/10.2307/2260902>
178. Zatylnicova O.A., Kovalev S.V. 2009. Study of amino acids and mineral composition of the underground organs of *Iris pseudacorus* L. — *Pharmacom.* 1: 45–47. http://sphu.org/wp-content/uploads/2017/08/Farmacom_1_2009.pdf (In Ukrainian)
179. Tarbeeva D.V. 2016. [Polyphenolic metabolites of *Iris pseudacorus* L. and its cell culture: Abstr. ... Diss. Cand. (Chemistry) Sci.]. Vladivostok. 24 p. (In Russian)
180. Kovalev V.N., Mikhailenko O.A., Kovalev S.V. 2013b. Coumarins of yellow iris *Iris pseudacorus* L. — *Khimija rastitel'no-go syr'ja*. 3: 201–205. (In Russian)
<https://doi.org/10.14258/jcprm.1303201>
181. Hanawa F., Tahara S., Mizutani J. 1991a. Isoflavonoids produced by *Iris pseudacorus* leaves treated with cupric chloride. — *Phytochemistry*. 30(1): 157–163.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)84117-B](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)84117-B)
182. Hanawa F., Tahara S., Mizutani J. 1991b. Flavonoids produced by *Iris pseudacorus* leaves treated with cupric chloride. — *Phytochemistry*. 30(7): 2197–2198.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83613-P](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83613-P)
183. Sary H.G., Ayoub N.A., Singab A.B., Ahmed A.H., Al-Azizi M.M. 2004. Chemical constituents and molluscicidal activity of *Iris pseudacorus* L. cultivated in Egypt. — *Bull. Pharm. Sci., Assiut University*. 27(1): 161–9.
<https://doi.org/10.21608/bfsa.2004.65438>
184. Bate-Smith E.C., Harborne J.B. 1963. Mangiferin and other glycophenolics in *Iris* species. — *Nature*. Vol. 198. № 4887. P. 1307–1308.
<https://doi.org/10.1038/1981307a0>
185. Zatylnikova O.O., Kovalyov S.V., Osolodchenko T.P., Akhmedov E.Yu. 2012. Investigation of the lipophilic fraction from leaves of yellow iris. — *Вісник фармації*. 3(71): 57–59.
https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/2055/1/VF2012_3.pdf (In Ukrainian with English and Russian summary)
186. Tarbeeva D.V., Fedoreev S.A., Veselova M.V., Kalinovskii A.I., Gorovoi P.G. 2014. Polyphenolic metabolites from *Iris pseudacorus*. — *Chem. Nat. Compd.* 50(2): 363–365.
<https://doi.org/10.1007/s10600-014-0955-3>
187. Stanley R.G., Linskens H.F. 1974. Pollen: biology, biochemistry and management. 310 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-65905-8>
188. O'Connor W.F., Drumm P.J. 1941. Pigments of *Iris pseudacorus*. — *Nature*. 147(3715): 58–59.
<https://doi.org/10.1038/147058b0>
189. Drumm P.J., O'Connor W.F. 1945. The pigments of the yellow iris (*Iris pseudacorus*). — *Biochem.* 39(2): 211–212.
<https://doi.org/10.1042/bj0390211>
190. Steinmetz E.F. 1957. *Codex vegetabilis*. Amsterdam. 136 p.
191. Villeret S. 1974. Sur l'évolution des acides gras majeurs des fleurs d'*Iris pseudacorus* L. — *C.R. Acad. Sci. (Paris)*. 278: 1213–1216. (In French)
192. Seki K., Kaneko R. 1975. Structure of irisquinone: A new quinone from *Iris pseudacorus* L. (Iridaceae). — *Chem. Ind. H.* 8: 349–350.
193. Kato T., Seki K., Kaneko R. 1986. Insoluble monolayers of irisquinone and its related substances at the air/water interface. — *J. Colloid Interface Sci.* 109(1): 77–89.
[https://doi.org/10.1016/0021-9797\(86\)90283-3](https://doi.org/10.1016/0021-9797(86)90283-3)
194. Marner F.-J., Horper W. 1992a. Phenols and Quinones from Seeds of Different *Iris* Species. — *Helvetica Chimica Acta*. 75(5): 1557–1562.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19920750509>
195. Zhou J., Xie G., Yan X. 2011. Encyclopedia of traditional Chinese medicines molecular structures, pharmacological activities, natural sources and applications. Vol. 3. Isolated Compounds H–M. 669 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-16747-8>
196. Maciejewska-Potapczyk W., Saniewski M., Pełczyńska M. 1974. Sugars in *Iris pseudoacorus* L. seeds. — *Acta Soc. Bot. Pol.* 43: 195–202.
<https://doi.org/10.5586/asbp.1974.018>
197. Lotti G., Aversa V. 1969. [Seed lipids of water plants. — The Italian review of fatty substances. Vol. XLVI. 668–72]. Fisheries Research Board of Canada. Translation Series № 1500. 1970.
<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/library-bibliotheque/139713.pdf> (Transl. form Italian)
198. Tarbeeva D.V., Fedoreyev S.A., Veselova M.V., Kalinovskiy A.I., Seletskaya L.D., Mazurok T.I., Bulgakov V.P. 2013 Polyphenolic compounds from callus cultures of *Iris pseudacorus*. — *Nat. Prod. Commun.* 8(10): 1419–1420.
<https://doi.org/10.1177/1934578X1300801020>

199. Freerksen E., Bönicke R. 1951. Über antibakterielle Prinzipien in höheren Pflanzen I. — Zeitschrift Für Hygiene Und Infektionskrankheiten. 132(5): 417–449.
<https://doi.org/10.1007/BF02149068>
200. Nickell L.G. 1959. Antimicrobial activity of vascular plants. — Economic Botany. 13(4): 281–318.
<https://doi.org/10.1007/BF02885664>
201. Ramtin M., Pahlaviani M.R.M.K., Massiha A., Issazadeh K., Heidari S. 2013. Comparative evaluation of the antibacterial activities of essential oils of *Iris pseudacorus* and *Urtica dioica* native north of Iran. — J. Pure Appl. Microbiol. 7(2): 1065–1070.
<https://microbiologyjournal.org/comparative-evaluation-of-the-antibacterial-activities-of-essential-oils-of-iris-pseudacorus-and-urtica-dioica-native-north-of-iran/>
202. Zatylnikova O.A., Osolodchenko T.P., Kovalev V.N. 2010. Antimicrobial activity of extracts of *Iris pseudacorus* L. — Annals of Mechnikov Institute. 4: 43–47. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ami_2010_4_7 (In Ukrainian)
203. Okba M.M., Abdel Baki P.M., Abu-Elghait M., Shehabeldine A.M., El-Sherei M.M., Khaleel A.E., Salem M.A. 2022. UPLC-ESI-MS/MS profiling of the underground parts of common *Iris* species in relation to their anti-virulence activities against *Staphylococcus aureus*. — J. Ethnopharmacol. 282: 114658.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114658>
204. [Wild medicinal plants]. 1965. Minsk. 361 p. (In Russian)
205. Dimkov P. 1978. [Bulgarian folk medicine]: In 3 volumes. Sofia. Vol. 2. 823 p.; 1979. Vol. 3. 678 p. (In Bulgarian)
206. Rollov A.H. 1908. [Wild plants of the Caucasus, their distribution, properties and application]. Tiflis. 599 p.
207. Grintsevich O.M. 1933. [Medicinal plants of the Western region]. — [Materials for the study of the natural productive forces of the western regions]. Smolensk. Iss. 3. P. 19–106. (In Russian)
208. Volkind I.V., Gurevich I.Ya., Uryupov O.Yu. 1976. [Drug handbook for doctors and pharmacists]. Leningrad. 647 p. (In Russian)
209. Yakovlev G.P., Blinova K.F. 1990. [Botanical-pharmacognostic dictionary]. Moscow. 192 p. (In Russian)
210. Frohne D., Pfänder H.J. 1983. Giftpflanzen. 2nd ed. Stuttgart. 137 p.
211. Roth L., Daunderer M., Kormann K. 1984. Giftpflanzen — Pflanzengifte. München. 1032 p.
212. Crişan I., Cantor M. 2017. New perspectives on medicinal properties and uses of *Iris* sp. — Hop Med. Plants. 24: 24–36.
213. Khokhlova N.A., Derkach N.V., Zatylnikova O.A., Kovalev V.N., Volkovoy V.A. 2012. Pharmacological study of *I. pseudocorus* L. — Ukrainian biopharmaceutical journal. 1–2: 42–45.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/ubfj_2012_1-2_12 (in Ukrainian)
214. Grossgeim A.A. 1952. [Plant wealth of the Caucasus]. 2nd ed. Moscow. 632 p. (In Russian)
215. Klobukova-Alisova E.N. 1958. [Wild-growing useful and harmful plants of Bashkiria]. In 2 volumes. Moscow; Leningrad. Vol. 1. 218 p.; Vol. 2. 247 p. (In Russian)
216. Geideman T.C., Ivanova B.I., Lyalikov S.I., Nikolaev L.P., Pozharisskaya L.P., Kholodenko B.G., Shkolnikova T.A., Shutov D.A. 1962. [Useful wild plants of Moldova]. Kishinev. 416 p. (In Russian)
217. Bgazhba M.T. 1964. Plant resources of Abkhazia and their use. Sukhumi. 579 p. (In Russian)
218. Ahmed A.H., El Hamshary E.M. 2005. Larvicidal, miracidicidal and cercaricidal activities of the Egyptian plant *Iris pseudacorus*. — J. Egypt. Soc. Parasitol. 35(1): 41–48.
219. Keizer-Vlek H.E., Verdonshot P.F.M., Verdonshot R.C.M., Dekkers D. 2014. The contribution of plant uptake to nutrient removal by floating treatment wetlands. — Ecol. Eng. 73: 684–690.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.081>
220. Mizuno T., Okuyama Y., Iwashina T. 2018. Flavonoids from *Iris sanguinea* var. *tobataensis* and chemotaxonomic and molecular phylogenetic comparisons with *Iris sanguinea* var. *sanguinea*. — Bull. Natl. Mus. Nat. Sci. Ser. B. 44(3): 135–145. <https://www.kahaku.go.jp/research/researcher/papers/74783.pdf>
221. Hirose R., Kazuta Y., Koga D., Ide A., Yagishita K. 1981. On the Structure of C-Glycosyl Flavones, Flavoyayamenin and Luteoyayamenin, in Petals of *Iris nertshinskia* Loddiges form *albiflora* Honda. — Agric. Biol. Chem. 45(3): 551–555.
<https://doi.org/10.1080/00021369.1981.10864564>
222. Kawase A. 1968. Studies on the Flavonoid of *Iridaceae*. — Agricultural and Biological Chemistry. 32(8): 1028–1032.
<https://doi.org/10.1080/00021369.1968.10859167>
223. Morita N. 1976. Relation of the classification and the component on plant — Application to the chemotaxonomy in connection with flavonoid. — Kagaku kyoiku. 22: 475–483 (In Japanese).
224. Marner F.-J., Longerich I. 1992b. Isolation and Structure Determination of new Iridals from *Iris sibirica* and *Iris versicolor*. — Liebigs Ann. Chem. (3): 269–272.
<https://doi.org/10.1002/jlac.199219920146>
225. Marner F.-J., Simic K., Scholz B., Küster B. 1995. Isolation and Structure Determination of a New Iridal from *Iris sibirica*. — J. Nat. Prod. 58(2): 299–301.
<https://doi.org/10.1021/np50116a026>
226. Bjoroy O., Rayyan S., Fossen T., Kalberg K., Andersen O.M. 2009. C-glycosylanthocyanidins synthesized from C-glycosylflavones. — Phytochemistry. 70(2): 278–287.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.12.012>

227. Karpitskiy D.A., Bessonova E.A., Kartsova L.A., Tikhomirova L.I. 2022. Development of approach for flavonoid profiling of biotechnological raw materials *Iris sibirica* L. by HPLC with high-resolution tandem mass spectrometry. — Phytochem. Anal. 33(6): 869–878.
<https://doi.org/10.1002/pca.3135>
228. Bate-Smith E.C., Swain T. 1965. Recent developments in the chemotaxonomy of flavonoid compounds. — Lloydia. 28: 313–331.
229. Andrews P., Hough L., Jones J.K.N. 1953. 238. Mannose-containing polysaccharides. Part III. The polysaccharides in the seeds of *Iris ochroleuca* and *I. sibirica*. — J. Chem. Soc. (Resumed). 1186–1192.
<https://doi.org/10.1039/jr9530001186>
230. Kurentsova G.E. 1941. [Medicinal plants of the Soviet Far East]. — [Proceedings of the Far Eastern mountain-taiga station Voroshilov-Ussuriyskiy]. 4: 131–226. (In Russian)
231. Skalozubov N.L. 1913. [Botanical Dictionary: Popular names of plants in the Tobolsk Governorate]. — Annuaire du muse de Tobolsk. Livr. XXI. P. 1–87. <https://www.prlib.ru/item/331768> (In Russian)
232. Krylov P. 1876. [On the folk medicinal plants used in the Perm Governorate]. — [Proceedings of the Imperial Kazan University Society of Naturalists]. 5(2). 131 p.
<https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000492012> (In Russian)
233. Grossgeim A.A. 1940. Fam. *Iridaceae* Lindl. — In: [Flora of the Caucasus]. Baku. Vol. 2. P. 200–227. (In Russian)
234. Kaššák P., Kuli M. 2014. Dyeing potential of the *Iris sibirica* flowers. — Eur. Sci. J. Special Edition 2: 372–380.
235. Silva J.D., Nascimento M.G., Castro K.N., Andrade I.M. 2015. Ethnobotanical survey of medicinal plants used by the community of Sobradinho, Lus Correia, Piauí, Brazil. — J. Med. Plant Res. 9: 872–883.
<https://doi.org/10.5897/JMPR2015.5881>
236. Kovalev V.M., Mykhailenko O.O., Krechun A.V., Osolodchenko T.P. 2017. Antimicrobial activity of extracts of *Iris hungarica* and *Iris sibirica*. — Annals of Mechnikov Institute. 2: 57–64.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.803878>
237. Hayashi K., Ootani S., Iwashina T. 1989. Comparative analysis of the flavonoid and related compounds occurring in three varieties of *Iris setosa* in the flora of Japan. — Res. Inst. Evolut. Biol. Sci. Rep. 6: 30–60. (In Japanese with English summary)
238. Iwashina T., Ootani S. 1995. Polyphenols in *Iris setosa* var. *canadensis* and their chemotaxonomic comparisons with three Japanese varieties. — Ann. Tsukuba Bot. Gard. 14: 35–41.
https://www.kahaku.go.jp/research/publication/tsukuba/download/14/ATBG14_35.pdf
239. Ueno N., Takemura E., Hayashi K. 1969. Additional Data for the Paperchromatographic Survey of Anthocyanins in the Flora of Japan (IV). — Shokubutsugaku Zasshi. 82(970): 155–161.
<https://doi.org/10.15281/jplantres1887.82.155>
240. Makarov A.A. 1970. [Medicinal plants of Yakutia]. Yakutsk. 179 p. (In Russian)
241. Arifkhodzhaev A.D., Ismailov Z.F. 1980. [*Iris* polysaccharides]. — Khimija Prirodnikh Soyedineniy. 6: 822–823. (In Russian)
242. Zakharov A.M., Boriaev K.I. 1968. [Search for plants containing biologically active compounds in the flora of the Middle Asia and Kazakhstan]. — Rastitelnye resursy. 4(2): 243–257. (In Russian)
243. Minaeva V.G., Kiseleva A.A., Volkhonskaya T.A. 1973. [Some results of the survey of plants in the Krasnoyarsk Territory for the content of flavonoid substances]. — [Promising useful plants of Siberian flora]. Novosibirsk. P. 170–178. (In Russian)
244. Makarenko A.A. 1897. [Materials on folk medicine of the Uzhur volost, Achinsk district, Yenisei Governorate with an appendix of a collection of folk medicines from the same volost]. Saint Petersburg. 438 p.
<https://elibrary.ru/handle/123456789/229308> (In Russian)
245. Dzhavanshir E.I., Kerimov Y.B. 2005. Study of fatty acids in lipids from four *Iris* varieties. — Azerb. Eczacil. J. 5(2): 26–30; Chem. Abstrs. 2007. 146: 247424.
246. Bondarenko A.S., Schweiger M.O., Mandrik T.P., Poddubnaya N.M., Skorobogatko T.I., Mozgovaya L.F., Kolesova E.A. 1967. [Antibacterial activity of plants from the botanical gardens of Ashgabat and Dushanbe]. — [Phytoncides, their biological role and significance for medicine and the national economy]. Kyiv. P. 102–106. (In Russian)
247. Mykhailenko O., Kovalyov V., Kovalyov S., Krechun A. 2017. Isoflavonoids from the rhizomes of *Iris hungarica* and antibacterial activity of the dry rhizomes extract. — Ars. Pharm. 58: 39–45.
<https://doi.org/10.30827/ars.v58i1.5919>
248. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Romanova S., Orlova T., Kozyra S., Harna S., Volochai V. 2021. The Comparative Analysis of Carboxylic Acid Composition of Four *Iris* Species from Ukraine. — Chem. Biodivers. 18(3): e2000969.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.202000969>
249. Rybak V., Kerimova G., Korol V. 2021. Investigation of the anabolic activity of dry extracts of *Iris hungarica* leaves and rhizomes on the model of hydrocortisone-induced protein catabolism. — Čes. slov. Farm. 70(2): 59–65.
<https://doi.org/10.5817/CSF2021-2-59>
250. Kostić A.Ž., Gašić U.M., Pešić M.B., Stanojević S.P., Barać M.B., Mačukanović-Jocić M.P., Tešić Ž.L. 2019. Phytochemical analysis and total antioxidant capacity of rhizome, above-ground vegetative parts and flower of three *Iris*

- species. — Chem. Biodivers. 16(3): e1800565.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201800565>
251. Yuan Y., Sun Y., Zhao Y., Liu C., Chen X., Li F., Bao J. 2019. Identification of Floral Scent Profiles in Bearded Irises. — *Molecules*. 24(9): 1773.
<https://doi.org/10.3390/molecules24091773>
252. Zhou J., Xie G., Yan X. 2011. Encyclopedia of traditional Chinese medicines molecular structures, pharmacological activities, natural sources and applications. Vol. 2. Isolated compounds D-G. 525 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-16738-6>
253. Singab A.N.B., Ayoub I.M., El-Shazly M., Korinek M., Wu T.-Y., Cheng Y.-B., Chang F.-R., Wu Y.-C. 2016. Shedding the light on Iridaceae: Ethnobotany, phytochemistry and biological activity. — *Ind. Crops Prod.* 92: 308–335.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.040>
254. Purevsuren Ts. 2004. Bioactive compounds from *Iris potaninii* Maxim. — A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy in Biology. Ulaanbaatar: National University of Mongolia. 111 p.
255. *Medicinal Plants in Mongolia*. 2013. Weltgesundheitsorganisation Regional Office for the Western Pacific. 235 p.
256. Ageev V.E. 1989. [Medicinal plants of Adzharia]. Tbilisi. 61 p. (In Russian)
257. Aseeva T.A., Tarmaeva Z.V., Logina O.K., Bukhasheeva T.K., Trifonova G.P., Andreeva L.B. 1987. [Resources of medicinal plants in Buryatia]. — [Plant resources of Transbaikalia and their use]. Ulan-Ude. pp. 41–61. (In Russian)
258. Telyatiev V.V. 1985. [Useful plants of Central Siberia]. Irkutsk. 400 p. (In Russian)

РОД *IRIS* (IRIDACEAE) В РОССИИ: КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ТРАДИЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ

Н. Б. Алексеева^а, М. М. Дорофеева^б, *, Е. А. Варфоломеева^а, Л. Н. Миронова^с

^аБотанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

^бСанкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

^сБотанический сад-институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

*e-mail: drofa88@mail.ru

Род *Iris* в России представлен 41 видом, 4 вида являются эндемиками, 11 занесены в Красную книгу Российской Федерации и 30 имеют природоохранный статус в различных регионах. В обзоре представлена информация о компонентном составе, биологической активности и лечебных свойствах 16 видов рода *Iris*, произрастающих в России, и об их использовании в народной медицине. Анализ данных показал, что при изучении компонентного состава, биологической активности и медицинского применения, исследователь должен произвести правильную идентификацию видов рода *Iris* L., зная их географическое распространение, экологию, морфологические характеристики. Собраны данные об использовании видов *Iris* в традиционной медицине. Экстракты и выделенные соединения большинства видов ириса обладают болеутоляющими, антиоксидантными, жаропонижающими, противовоспалительными, антибактериальными, противомикробными свойствами. Некоторые виды обладают также цитотоксическим, противоопухолевым, противодиабетическим, противогриппозным, нейтропротекторным, антигипергликемическим, противоаллергическим, антифедантным действием. Большинство выделенных метаболитов представляют собой флавоноиды, изофлавоноиды, антоцианы, терпеноиды, ксантоны, хиноны, фенольные и жирные кислоты. В официальной и традиционной медицине Азии и Европы используются подземные и надземные части растений *Iris aphylla*, *I. lactea*, *I. pseudacorus*, *I. ruthenica*, *I. sanguinea* и др. Статья является итогом многолетнего изучения ирисов в природе и в коллекциях двух ботанических садов, а также обширного изучения литературы, касающейся компонентного состава и лечебных свойств растений.

Ключевые слова: *Iris*, компонентный состав, биологическая активность, фармакологические свойства, народная медицина

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ ИНТРОДУКЦИЯ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ ВИДОВ *SALIX*, *CHOSENIA*, *TOISUSU* (*SALICACEAE*) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ (г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

© 2023 г. Л. Ф. Яндовка¹, *, А. С. Трофимова¹, Т. С. Дворецкая²

¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

²Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

*e-mail: yandovkatgu@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2021 г.

После доработки 30.11.2022 г.

Принята к публикации 25.12.2022 г.

Важной составляющей селекционной работы с представителями семейства *Salicaceae* (ивовые), является изучение возможностей адаптации при интродукции растений. Показателями адаптации служат как особенности роста вегетативных органов, так и репродукционные способности растений. Недостаточная изученность этой проблемы у ивовых послужила основанием для проведения исследования. Объектами исследования были виды родов *Salix*, *Chosenia* и *Toisusu*, интродуцированные в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, а также аборигенные для региона виды, которые изучали с целью сравнения с ними интродуцированных видов. У исследуемых растений определены величины прироста побегов за вегетационный период, зимостойкость цветочных почек и повреждение стволов морозом, потенциальная семенная продуктивность. Анализируется варьирование этих показателей, показывающее в ряде случаев нестабильность видов в новых для них условиях. Наиболее стабильные показатели прироста побегов и достаточно высокая зимостойкость цветочных почек в условиях г. Санкт-Петербурга выявлены у интродуцированных видов *Salix vinogradovii* и *S. integra*. Высокие значения потенциальной семенной продуктивности установлены у растений-интродуцентов *Salix kangensis* и *S. vinogradovii*, *Toisusu cardiophylla*, *Salix caucasica*, *S. gmelinii*. Наиболее стабильные значения этих показателей из растений местной флоры отмечены у *Salix phylicifolia* и *S. caprea*.

Ключевые слова: *Salicaceae*, *Salix*, *Chosenia*, *Toisusu*, интродукция растений, динамика роста побегов, зимостойкость, потенциальная семенная продуктивность

DOI: 10.31857/S0033994623010107, **EDN:** YATGOJ

Представители сем. *Salicaceae* распространены по всему миру. Известно около 700 видов семейства, многие из которых — ценные декоративные растения, которые часто поселяют в новые, непривычные для них почвенно-климатические условия. Изучение адаптационных возможностей растений при интродукции является важной составляющей селекционной работы с ивовыми. Показателями адаптации служат как особенности роста вегетативных органов, так и репродукционные способности растений.

Проблемой адаптации к климатическим условиям при интродукции у представителей сем. *Salicaceae* занимались немногие исследователи (Anselmi [1], Tognetti et al. [2], Birks [3], L. Fan [4], Демидова, Дуркина [5], Самохвалова, Жамурина [6], Ишук [7], Бакулин [8], Томошевич, Воробьева [9], Афонин [10, 11]). В большинстве случаев рассматривались вопросы численности популяций, географического расселения. Изучению процес-

сов роста и развития растений в новых условиях уделялось мало внимания. В ряде случаев вопросы адаптации ивовых связывают с интенсивностью их поражения грибными болезнями и с зимостойкостью.

Размножают ивы посевом семян и стеблевыми черенками без листьев (зимними). Семена ивовых очень мелкие, теряют всхожесть в течение 10 дней после их созревания (исключение — ива 5-тычинковая, семена которой сохраняют всхожесть под снегом до весны). Черенкование ивовых также не всегда осуществляется успешно. У ряда видов черенки плохо укореняются, например, у *Salix caprea*, *S. cinerea* и др. [12]. Е.В. Угольникова [13] рассматривает некоторые особенности семенного размножения у видов *Salix*.

Важным показателем адаптации растений является их семенная продуктивность. Потенциальная семенная продуктивность (ПСП) отража-

ющая репродуктивные возможности вида, рассчитывается как количество цветков и завязей в соцветии; число сформированных семян определяет реальную семенную продуктивность [14–16]. В “Сравнительной эмбриологии цветковых растений” [17] приводится характеристика зародыша и эндосперма семени ивовых. А.М. Марченко [18] изучены семязачатки у видов р. *Salix*. Недостаточная изученность роста и развития вегетативных и генеративных структур у видов *Salicaceae* при интродукции послужила основанием для проведения нашего исследования.

Целью работы была оценка адаптации некоторых представителей семейства ивовых при интродукции в условия Северо-Западного региона России (г. С.-Петербург).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были виды родов *Salix*, *Chosenia* и *Toisusu* семейства *Salicaceae*, произрастающие в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург). Для оценки потенциальной семенной продуктивности использовали только виды, представленные несколькими мужскими и женскими особями, произрастающими на незначительном расстоянии друг от друга. Пять из изученных видов имеют жизненную форму дерево: *Chosenia arbutifolia* (корейнка земляничнолистная); *Salix ledebouriana* f. *pyramidale* (ива Ледебуря); *Toisusu cardiophylla* (Trautv. et Mey.) Kimura (ложнотополь сердцелистный); *Salix caprea* L. (ива козья); *Salix kangensis* Nakai (ива кангинская). Из них *S. caprea* L. является аборигенным видом, остальные виды — интродуценты. Семь исследуемых видов представлены кустарниками: *Salix kochiana* Trautv. (ива Коха); *S. integra* Thunb. (ива цельнолистная); *S. vinogradovii* A. Skvorts. (ива Виноградова); *S. nipponica* Franch. et Sav. (ива ниппонская); *S. caucasica* Andersson (ива кавказская); *S. gmelinii* Pall. (ива Гмелина); *S. phylicifolia* L. (ива филиколистная). Три вида — *S. cinerea*, *S. gmelinii* и *S. phylicifolia* являются аборигенными, остальные виды — интродуценты. Аборигенные виды изучали с целью сравнения с ними интродуцированных видов.

У исследуемых растений определяли годичный прирост побегов. Для этого в начале вегетационного периода на каждом растении отмечали 10 учетных побегов, затем в конце вегетации (сентябрь) оценивали их прирост.

Анализ степени подмерзания стволов зимой определяли визуально (в процентах), согласно 5-балльной шкале. Зимостойкость цветковых почек после воздействия мороза оценивали двумя способами. При первом способе в конце декабря срезают побеги с генеративными почками, ставят в

воду при комнатной температуре на 1 день, пока из почек не показывались края зеленых листочков. Затем отделяли 30 почек от побегов каждого вида и лезвием бритвы делали их продольный срез. Для анализа подмерзаемости почек использовали 10-балльную шкалу (10% поражения тканей соответствует 1 баллу по шкале, 20% — 2 баллам и т.д.). Оценку проводили глазомерно с использованием бинокулярной лупы; подмерзшими считали участки почки коричневого цвета, живыми — участки зеленого цвета.

Оценку зимостойкости почек вторым способом проводили после промораживания их в лабораторных условиях. Подготовленные к морозам клетки характеризуются наличием в них плазмолиза. Для изучения зимостойкости почки окрашивали нейтральным красным, затем промывали водой. Далее пробирки с почками помещали в охлаждающую смесь на 1 ч (3 части снега : 1 часть поваренной соли). Затем оценивали наличие или отсутствие плазмолиза в клетках зачаточных листочков почки под микроскопом, добавив физиологический раствор [19].

Потенциальную семенную продуктивность определяли путем пересчета соцветий и цветков в соцветии на 0.5 м побега; оценивали не менее 10 побегов. Семенная продуктивность побегов различается в разных ярусах кроны растения [20, 21], поэтому учетные побеги отбирались из разных частей кроны растения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным критерием приспособленности растений к условиям обитания является динамика их роста. Наибольший прирост побегов за вегетационный сезон у деревьев-интродуцентов показала *Chosenia arbutifolia* — 14.1 см, у кустарников — *Salix vinogradovii* (25.8 см) и *S. integra* (23.6 см); наименьший прирост побегов из числа интродуцентов отмечен у *Toisusu cardiophylla* (♀) (12.2 см) и *Salix kochiana* (10.9 см). У местного вида *Salix caprea* прирост побегов невысокий — около 9 см (табл. 1).

Для оценки динамичности показателя прироста побегов в условиях интродукции использовали коэффициент вариации. Как видно из табл. 1, варьирование значений прироста побегов за период вегетации у большинства видов является незначительным, что свидетельствует о приспособленности растений к условиям среды обитания. Наибольшая изменчивость этого признака выявлена у *Chosenia arbutifolia* (22.1%), *Salix ledebouriana* и *Toisusu cardiophylla* (♂) — 12.7 и 15.7% соответственно (табл. 1). Более существенное варьирование признака у этих видов отражает невысокую приспособленность растений к условиям обитания. Коэффициент осцилляции годичного прироста побегов, показывающий раз-

Таблица 1. Прирост побегов у видов семейства Salicaceae**Table 1.** Shoot growth in species of Salicaceae family

Вид Species	Высота растения, м Plant height, m	Прирост побегов за вегетационный сезон, X_{cp} (см) $\pm m$ Shoot growth over the growing season, $X_{average}$ (cm) $\pm m$	Коэффициент вариации признака (прироста побегов), % Coefficient of characteristic variation (shoot elongation), %	Коэффициент осцилляции прироста побегов Coefficient of shoot growth oscillation
<i>Chosenia arbutifolia</i>	16.0	14.05 $\pm$ 3.1	22.06	0.93
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♀)	7.80	12.17 $\pm$ 0.9	7.40	0.41
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♂)	5.00	17.17 $\pm$ 2.7	15.73	0.76
<i>Salix caprea</i>	15.5	9.33 $\pm$ 0.5	5.36	0.32
<i>Salix integra</i>	3.45	23.63 $\pm$ 1.3	5.50	0.38
<i>Salix kochiana</i>	4.80	10.86 $\pm$ 0.9	8.29	0.64
<i>Salix ledebouriana</i>	7.15	16.6 $\pm$ 2.1	12.65	0.60
<i>Salix vinogradovii</i>	5.55	25.8 $\pm$ 2.4	9.30	0.47

Примечание. Здесь и далее в таблицах: указываются средние значения в расчете на одно растение и ошибка среднего.

Note. Here and in the next tables: the mean values per plant and the error of the mean are indicated.

Таблица 2. Зимостойкость цветковых почек видов Salicaceae (продольные срезы почек)**Table 2.** Winter hardiness of flower buds of Salicaceae species (longitudinal sections of buds)

Вид Species	Средний балл промерзания Average score of freezing damage	Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %
<i>Chosenia arbutifolia</i>	0.97 $\pm$ 0.23	24
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♀)	0.53 $\pm$ 0.11	21
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♂)	0.20 $\pm$ 0.07	35
<i>Salix caprea</i>	0.30 $\pm$ 0.10	33
<i>Salix integra</i>	0.33 $\pm$ 0.09	27
<i>Salix kochiana</i>	0.47 $\pm$ 0.11	23
<i>Salix ledebouriana</i>	0.80 $\pm$ 0.40	50
<i>Salix vinogradovii</i>	0.30 $\pm$ 0.09	30

брос крайних значений вокруг средней арифметической, также различается у исследуемых растений. Наибольший разброс этого показателя из числа интродуцентов характерен для *Chosenia arbutifolia*, *Toisusu cardiophylla* (♂), наименьший — для местного вида *Salix caprea* (табл.1).

Морозоустойчивость растений, оцениваемая по характеру промерзания цветковых почек и отдельных клеток в зачаточных листочках, у разных видов неодинакова. В табл. 2 показаны результаты оценки промерзания почек на основе анализа продольных срезов. У всех исследуемых видов средний балл промерзания цветковых почек низкий (0.2—1.0 балл). При этом коэффициент вариации степени поражения листьев в пределах одного вида значительный, от 21% (*Toisusu cardiophylla*) до 50% (*Salix ledebouriana*) (табл. 2).

Второй способ оценки зимостойкости почек (промораживание их в лабораторных условиях и последующая оценка способности клеток к плазмолизу), показал у всех исследуемых растений высокий процент плазмолизированных (живых) клеток после промораживания, что говорит об устойчивости растений к воздействию мороза (табл. 3). Менее всего плазмолизированных клеток в зачаточных листочках отмечено у *S. ledebouriana* (87%).

После того, как зимой после воздействия мороза устанавливались длительные положительные температуры, оценивали состояние стволов растений. В большинстве случаев стебли как местных, так и аборигенных видов, повреждаются. Кора стволов у *Chosenia arbutifolia* продольно растрескивающаяся, морозобоин не обнаружено. Стволы кустарников *Salix ledebouriana*, *S. kochiana*

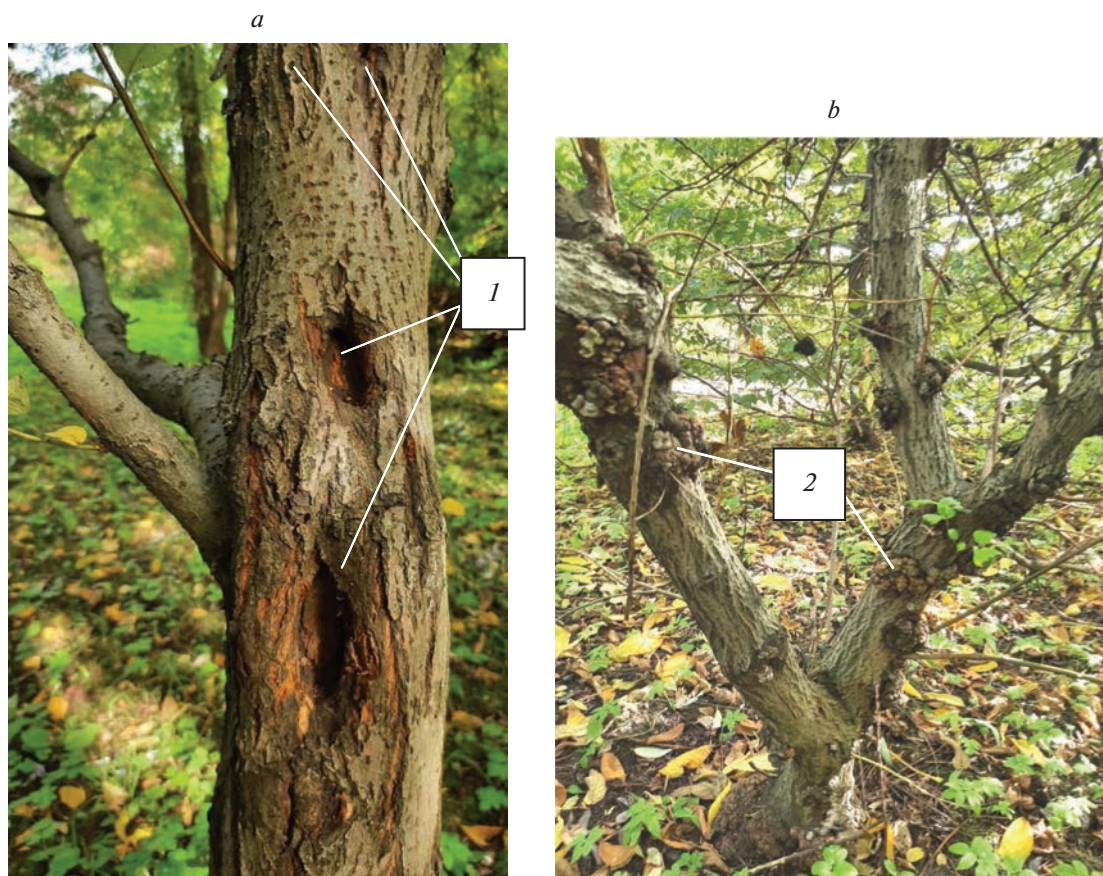


Рис. 1. Стебли и ветви *Toisusu cardiophylla*: а – ♀; б – ♂. 1 – морозобойные трещины; 2 – наросты бактериальной природы.
Fig. 1. Stems and branches of *Toisusu cardiophylla*: а – ♀; б – ♂. 1 – frost cracks; 2 – growths of a bacterial nature.

и *S. vinogradovii* в условиях С.-Петербурга находятся в отличном состоянии. Основание стволов кустарника *Salix integra* имеет повреждения беспозвоночными животными. У *Toisusu cardiophylla* (♀) обнаружены морозобойные трещины размером 10–15 см (рис. 1а), увеличивающиеся с каждым

годом. Стволы и ветви растений этого вида (♂) покрыты специфическими наростами бактериальной природы (рис. 1б). При этом заболевание не передается на рядом стоящие растения других видов. Ствол *Salix caprea* (местный вид) имеет крупную морозобойную трещину размером около

Таблица 3. Зимостойкость цветковых почек видов Salicaceae, определяемая промораживанием в лабораторных условиях

Table 3. Winter hardiness of flower buds of Salicaceae species determined by laboratory freezing tests

Вид Species	Количество плазмолизированных клеток, шт. Number of plasmolyzed cells, pcs.	Количество мертвых клеток, не способных к плазмолизу, шт. Number of dead cells incapable of plasmolysis, pcs.	Доля плазмолизированных клеток, % Proportion of plasmolyzed cells, %
<i>Chosenia arbutifolia</i>	537	63	89.5
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♀)	556	44	92.6
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♂)	559	41	93.1
<i>Salix caprea</i>	558	42	93.0
<i>Salix integra</i>	565	35	94.2
<i>Salix kochiana</i>	554	46	92.3
<i>Salix ledebouriana</i>	522	78	87.0
<i>Salix vinogradovii</i>	561	39	93.5

Таблица 4. Потенциальная семенная продуктивность видов семейства Salicaceae
Table 4. Potential seed productivity of Salicaceae species

Вид Species	Кол-во женских соцветий ¹ , шт. Number of female inflorescences ¹ , pcs.	Коэффициент вариации Coefficient of variation	Кол-во цветков в женском соцветии ² , шт. Number of flowers per female inflorescence ² , pcs.	Коэффициент вариации Coefficient of variation
<i>Chosenia arbutifolia</i>	13.50 ± 3.4	25	28.20 ± 3.7	13
<i>Toisusu cardiophylla</i>	13.00 ± 4.2	32	43.80 ± 5.6	13
<i>Salix caprea</i>	10.20 ± 2.9	28	166.60 ± 3.1	2
<i>Salix cinerea</i>	12.00 ± 1.5	13	63.75 ± 3.6	6
<i>Salix phylicifolia</i>	22.00 ± 2.6	12	63.00 ± 5.2	8
<i>Salix caucasica</i>	15.25 ± 1.7	11	45.75 ± 4.4	10
<i>Salix gmelinii</i>	24.55 ± 2.6	11	50.50 ± 3.1	6
<i>Salix kangensis</i>	14.00 ± 2.6	19	52.80 ± 5.5	10
<i>Salix ledebouriana</i>	9.25 ± 3.8	41	23.25 ± 2.2	9
<i>Salix nipponica</i>	17.25 ± 1.7	9	27.60 ± 2.7	9
<i>Salix vinogradovii</i>	28.00 ± 7.1	25	59.25 ± 6.3	11

Примечание. ¹ среднее число женских соцветий на 0.5 м побега; ² среднее число цветков в соцветии на 0.5 м побега.

Note. ¹ Average number of female inflorescences per 0.5 m shoot; ² average number of flowers per inflorescence per 0.5 m shoot.

1.5 м на главном побеге и трещину длиной около 40 см на боковом побеге, немного увеличивающуюся с каждым годом. Также у *Salix caprea* наблюдали развитие плодовых тел базидиальных грибов на стволах.

Семенная продуктивность — важный показатель, отражающий репродуктивную способность вида в конкретных условиях произрастания. В табл. 4 отражена потенциальная семенная продуктивность исследуемых растений. Количество пестичных соцветий и цветков в соцветии варьирует у разных видов, различается у аборигенных и интродуцированных видов. Так, у местного вида *Salix caprea* в среднем на 0.5 м побега развивается 10 соцветий. При этом количество цветков в соцветии высокое — в среднем 167 шт. У *Salix cinerea* число соцветий на учетном побеге составляет 12 шт. и достаточно много цветков в одном соцветии — 64 шт. *Salix phylicifolia* также характеризуется большим, по сравнению с интродуцированными видами, числом цветков в соцветии.

У растений-интродуцентов число соцветий на 0.5 м побега от 9 (*Salix ledebouriana*) до 28 шт. (*Salix vinogradovii*). Число цветков в одном соцветии от 23 шт. (*Salix ledebouriana*) до 59 шт. (*Salix vinogradovii*). При этом у большинства интродуцентов число цветков в соцветии гораздо ниже максимального значения (табл. 4). В среднем количество цветков в женском соцветии у исследованных представителей семейства Salicaceae составляет 57 шт.

Как видно из табл. 4, коэффициент вариации значений ПСП у исследованных растений не за-

висит от происхождения вида (местный или интродуцент). У ряда видов варьирование ПСП на разных побегах и растениях значительное, например, у *Toisusu cardiophylla* (32%), *Salix caprea* (28%), *Chosenia arbutifolia* и *S. vinogradovii* (25%). Значительный коэффициент вариации признака указывает на невысокие адаптивные возможности растения. Максимальный коэффициент вариации числа пестичных соцветий отмечен у *S. ledebouriana* (41%). Вариабельность количества цветков в соцветии у всех видов незначительна — не более 13% (табл. 4).

ВЫВОДЫ

1) Интродуцированные в условиях г. Санкт-Петербурга растения семейства Salicaceae имеют разные возможности адаптации. Исследуемые в работе характеристики вегетативных (прирост побегов за вегетационный сезон, зимостойкость) и генеративных (потенциальная семенная продуктивность) органов, а также степень варьирования их значений, могут использоваться при оценке общего состояния растений в условиях интродукции.

2) Наиболее стабильные показатели прироста побегов и достаточно высокая зимостойкость цветочных почек в условиях г. Санкт-Петербурга обнаружены у интродуцированных видов *Salix vinogradovii* и *S. integra*. Наиболее высокие значения потенциальной семенной продуктивности наблюдаются у растений-интродуцентов *Salix kangensis* и *S. vinogradovii*. Однако достаточно высокие значения ПСП наблюдаются и у других интроду-

цированных видов — *Toisusu cardiophylla* и *Salix caucasica*. По всем исследованным показателям лучшими возможностями адаптации в условиях г. С.-Петербурга отличается *Salix vinogradovii*.

3) Как аборигенные для г. Санкт-Петербурга виды, так и интродуцированные показывают разброс значений изученных признаков. Наиболее стабильные показатели выявлены у растений *Salix phylicifolia* и *S. caprea*.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность директору Ботанического института РАН им. В.Л. Комарова Гельтману Дмитрию Викторовичу и старшему научному сотруднику, куратору дендроколлекции Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН Фирсову Геннадию Афанасьевичу за предоставленную возможность работать с материалом коллекции семейства Salicaceae.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anselmi N. 2009. Diseases of Poplars and Willows. — In: FAO International Workshop “Improve the contribution of Poplars and Willows in meeting sustainable livelihoods and land-use in selected Mediterranean and Central Asian countries”. Izmit, Turkey. <https://www.fao.org/forestry/41487-03fd672dbccd795769b32d7011f1b6e1.pdf>
2. Tognetti R., Cocozza C., Marchetti M. 2013. Shaping the multifunctional tree: the use of *Salicaceae* in environmental restoration. — iForest — Biogeosciences and Forestry. 6(1): 37–47. <https://doi.org/10.3832/ifer0920-006>
3. Birks H.H. 2017. The Remarkable Versatility of *Salix herbacea*. — Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10499-3>
4. Fan L., Zheng H., Milne R.I., Zhang L., Mao K. 2018. Strong population bottleneck and repeated demographic expansions of *Populus adenopoda* (Salicaceae) in subtropical China. — Annals of Botany. 121(4): 665–679. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx198>
5. Демидова Н.А., Дуркина Т.М. 2012. Результаты испытания местных и интродуцированных видов рода *Salix* на Европейском Севере России. — Региональные геосистемы. 21(140): 23–29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=20212181>
6. Самохвалова И.В., Жамурина Н.А. 2017. Биологические особенности устойчивости к неблагоприятным факторам отдельных видов семейства Salicaceae Mirb. в условиях г. Оренбурга. — Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 6(68): 228–230. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32277887>
7. Ишук Л.П. 2017. Формирование коллекции семейства *Salicaceae* Mirbel. на биостанции Белоцерковского национального аграрного университета. — В сб.: Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира. Минск. С. 384–388. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29658804>
8. Бакулин В.Т., Чиндяева Л.Н., Цыбуля Н.В. 2010. Антимикробная активность листьев тополей и ив (*Salicaceae*) в Сибири. — Проблемы региональной экологии. 6: 60–64. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15569689>
9. Томошевич М.А., Воробьева И.Г. 2017. Патогенные микромицеты листьев растений-интродуцентов рода *Salix* (*Salicaceae*) в Сибири. — Растительный мир Азиатской России. 3(27): 3–12. <https://sibran.ru/upload/iblock/188/188fffd630b046631c94455adbd1f586.pdf>
10. Афонин А.А. 2020. Сезонная динамика длины междоузлий побегов *Salix dasyclados* Wimm. (*Salicaceae* Mirb.) на фоне стресса от раннелетней засухи. — Бюллетень науки и практики. 6(9): 18–36. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/02>
11. Афонин А.А. 2021. Инфраниантные ритмы суточного прироста побегов в клонах *Salix viminalis* (*Salicaceae*). — Вестник Нижневартского государственного университета. 2(54): 12–22. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/02>
12. Соколов С.Я. 1951. *Salix* L. — Ива. — В кн.: Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. М.—Л. Т. 2. С. 120.
13. Угольников Е.В., Кашин А.С. 2013. Особенности репродуктивной биологии видов *Salix* (*Salicaceae*) в Саратовской области. — Бот. журн. 98(6): 723–732. <http://arch.botjournal.ru/?t=articles&id=5218>
14. Левина Р.Е. 1981. Репродуктивная биология семенных растений. М. 96 с.
15. Злобин Ю.А. 2000. Потенциальная семенная продуктивность. — В кн.: Эмбриология цветковых растений. Ред. Т.Б. Батыгина. СПб. Т. 3. С. 258–260.
16. Hamzehloo S., Ghahremaninejad F., Hoseini E. 2020. Petiole anatomical features in *Salix* and some of its relatives in the family *Salicaceae*. — Rostaniha. 21(2): 185–205. <https://doi.org/10.22092/BOTANY.2020.343283.1205>
17. Николаева Е.С. 1983. *Salicaceae*. — В кн.: Сравнительная эмбриология цветковых растений. Phytolaccaceae — Thymelaeaceae. Л. С. 188–192.
18. Марченко А.М. 2019. Семязачатки и идентификация ив (*Salix*). М. 116 с.
19. Сказкин Ф.Д. 1958. Практикум по физиологии растений. М. 339 с.

20. Яндовка Л.Ф., Шамров И.И. 2006. Фертильность пыльцы *Cerasus vulgaris* и *C. tomentosa* (Rosaceae). — Бот. журн. 91(2): 206–218. <http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=20060202>
21. Яндовка Л.Ф. 2008. Семенная продуктивность у *Cerasus*, *Microcerasus* и *Amygdalus* (Rosaceae). — В сб.: Современные проблемы морфологии и репродуктивной биологии семенных растений: Труды Международной конференции, посвященной памяти Р.Е. Левиной. Ульяновск. С. 133–138.

Assessing the Adaptive Capacity of *Salix*, *Chosenia* and *Toisusu* (Salicaceae) Species Introduced in the North-West Region of Russia (St. Petersburg)

L. F. Yandovka^{a, *}, A. S. Trofimova^a, T. S. Dvoretzkaya^b

^aHerzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

^bDerzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

*e-mail: yandovkaTGU@mail.ru

Abstract—The study of the adaptive capacity of the introduced plants is an important component of willow breeding. The characteristics of vegetative organs and species' reproductive ability were used as adaptation indicators. Insufficient knowledge of vegetative and generative structures adaptability in introduced Salicaceae species established ground for the study. It was aimed at identifying Salicaceae species most adapted to the climatic conditions of the North-West region of Russia. The specimens of *Salix*, *Chosenia* and *Toisusu* in the family Salicaceae, introduced in the Botanical Garden of Peter the Great of the Komarov Botanical Institute were studied and compared with the Salicaceae species native to the region. In the examined species the values of shoot extension over the growing season, winter hardiness of flower buds and stems, and seed productivity were determined. The article assesses the characters' variations, which in some cases demonstrate the species instability under new conditions. The most stable indicators of shoot extension and sufficient winter hardiness of flower buds are found in introduced in St. Petersburg *Salix vinogradovii* and *S. integra*. The most stable values of these indicators in plants of the local flora are in *S. phylicifolia* and *S. caprea*.

Keywords: Salicaceae, *Salix*, *Chosenia*, *Toisusu*, plant introduction, shoot growth dynamics, winter hardiness, potential seed productivity

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their deep gratitude to Dmitry V. Geltman, Director of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, and Gennady A. Firsov, senior research officer, scientific curator of the Arboretum of Peter the Great Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, for the permission to work with the collection of Salicaceae.

REFERENCES

1. Anselmi N. 2009. Diseases of Poplars and Willows. — In: FAO International Workshop “Improve the contribution of Poplars and Willows in meeting sustainable livelihoods and land-use in selected Mediterranean and Central Asian countries”. Izmit, Turkey. <https://www.fao.org/forestry/41487-03fd672dbccd795769b32d7011f11b6e1.pdf> (In English)
2. Tognetti R., Cocozza C., Marchetti M. 2013. Shaping the multifunctional tree: the use of Salicaceae in environmental restoration. — iForest — Biogeosciences and Forestry. 6(1): 37–47. <https://doi.org/10.3832/ifer0920-006>
3. Birks H.H. 2017. The Remarkable Versatility of *Salix* herbacea. — Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10499-3>
4. Fan L., Zheng H., Milne R.I., Zhang L., Mao K. 2018. Strong population bottleneck and repeated demographic expansions of *Populus adenopoda* (Salicaceae) in subtropical China. — Annals of Botany. 121(4): 665–679. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx198>
5. Demidova N.A., Durkina T.M. 2012. The results of the local and introduced *Salix* species in the European North of Russia. — Regional geosystems. 21(140): 23–29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=20212181> (In Russian)
6. Samokhvalova I.V., Zhamurina N.A. 2017. Biological particularities of certain plant species of Salicaceae Mirb. Family sustainability to adverse factors under the conditions of the city of Orenburg. — Izvestia Orenburg State Agrarian University. 6(68): 228–230. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32277887> (In Russian)
7. Ishchuk L.P. 2017. Formation of family collection Salicaceae Mirbel on the biological station of the Bila Tserkva NAU. — In: Role of botanical gardens and arboretums in conservation, investigation and sustainable using diversity of the plant

- world. Proceedings of the international conference. Part 1. Minsk. P. 384–388.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=29658804> (In Russian)
8. Bakulin V.T., Chindyaeva L.N., Tsybulya N.V. 2010. [Antimicrobial activity of poplar and willow (*Salicaceae*) leaves in Siberia]. — Problems of regional ecology. 6: 60–64. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15569689> (In Russian)
 9. Tomoshevich M.A., Vorobyova I.G. 2017. Foliar pathogenic micromycetes of *Salix* (*Salicaceae*) plants introduced in Siberia. — Flora and Vegetation of Asian Russia. 3(27): 3–12.
<https://sibran.ru/upload/iblock/188/188fffd630b046631c94455addb1f586.pdf> (In Russian)
 10. Afonin A.A. 2020. Seasonal dynamics of internodes length of the shoots of *Salix dasyclados* Wimm. (*Salicaceae* Mirb.) against the background of early summer drought stress. — Bulletin of Science and Practice. 6(9): 18–36.
<https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/02> (In Russian)
 11. Afonin A.A. 2021. Infradian rhythms of daily shoot increment in *Salix viminalis* (*Salicaceae*) clones. — Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2(54): 12–22.
<https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/02> (In Russian)
 12. Sokolov S.Ya. 1951. *Salix* L. — In: [Trees and shrubs of the USSR. Wild-growing, cultivated and promising for introduction]. Vol. 2. Moscow, Leningrad. P. 120. (In Russian)
 13. Ugolnikova E.V., Kashin A.S. 2013. Peculiarities of reproductive biology of *Salix* (*Salicaceae*) species in Saratov region. — Botanicheskii Zhurnal. 98(6): 723–732. <http://arch.botjournal.ru/?t=articles&id=5218> (In Russian)
 14. Levina R.E. 1981. [Reproductive biology of seed plants]. Moscow. 96 p. (In Russian)
 15. Zlobin Yu.A. 2009. Potential seed productivity. — In: Embryology of flowering plants: Terminology and concepts. Vol. 3. Reproductive systems. Boca Raton. P. 192–193.
 16. Hamzehloo S., Ghahremaninejad F., Hoseini E. 2020. Petiole anatomical features in *Salix* and some of its relatives in the family *Salicaceae*. — Rostaniha. 21(2): 185–205.
<https://doi.org/10.22092/BOTANY.2020.343283.1205>
 17. Nikolayeva E.S. 1983. *Salicaceae*. — In: Comparative embryology of flowering plants. *Phytolaccaceae* — *Thymelaeaceae*. Leningrad. P. 188–192. (In Russian)
 18. Marchenko A.M. 2019. Ovules and identification of willows (*Salix*). Moscow. 116 p. (In Russian)
 19. Skazkin F.D. 1958. [Tutorial on plant physiology]. Moscow. 339 p. (In Russian)
 20. Yandovka L.F., Shamrov I.I. 2006. Pollen fertility in *Cerasus vulgaris* and *Cerasus tomentosa* (*Rosaceae*). — Botanicheskii Zhurnal. 91(2): 206–218. <http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=20060202> (In Russian)
 21. Yandovka L.F. 2008. Seed productivity in *Cerasus*, *Microcerasus* and *Amygdalus* (*Rosaceae*). — In: [Modern problems of morphology and reproductive biology of seed plants: Proceedings of the International scientific conference in memory of R.E. Levina]. Ulyanovsk. P. 133–138. (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН *GLYCINE SOJA* (FABACEAE) НА ТЕРРИТОРИИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. С. И. Лаврентьева^{1, 2, *}, Л. Е. Иваченко^{1, 2}, А. А. Блинова¹,
О. Н. Бондаренко¹, В. А. Кузнецова³

¹ФГБНУ ФНИЦ “Всероссийский научно-исследовательский институт сои”, г. Благовещенск, Россия

²ФГБОУ ВО “Благовещенский государственный педагогический университет”, г. Благовещенск, Россия

³ФГБНУ ФИЦ “Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова”,
г. Владивосток, Россия

*e-mail: lana.lavrenteva.1984@mail.ru

Поступила в редакцию 17.08.2022 г.

После доработки 30.11.2022 г.

Принята к публикации 20.02.2023 г.

Культурный вид *Glycine max* (L.) Мегг. происходит от дикой сои *Glycine soja* Sieb. et Zucc., которая является источником многих ценных генов, отсутствующих в генотипе культурной сои, включая стрессоустойчивость к неблагоприятным факторам среды. Изучены компонентный состав семян (содержание белка, масла, аскорбиновой кислоты, каротина, высших жирных кислот), удельная активность и множественные формы ферментов класса оксидоредуктаз и гидролаз у 5-ти образцов *Glycine soja* коллекции ФГБНУ ФНИЦ Всероссийского научно-исследовательского института сои (КА-1413, КА-342, КБл-29, КБл-24 и КБел-72), которые являются уникальными природными банками генов. Семена были собраны в 3 районах Амурской обл. (Архаринском, Благовещенском и Белогорском). Полученные результаты энзиматической активности супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, рибонуклеазы, кислой фосфатазы, эстеразы, амилазы и компонентный состав семян исследуемых образцов, позволили выявить образец дикой сои КА-1413 с высокими биохимическими показателями (содержания белка, олеиновой и линоленовой кислот), низким значением удельной активности полифенолоксидазы и повышенной активностью супероксиддисмутазы, эстеразы и рибонуклеазы. Образец КА-1413 можно рекомендовать для введения в селекцию в качестве источника устойчивых генов, что будет способствовать повышению адаптивного потенциала новых сортов сои. Повышенной гетерогенностью множественных форм в семенах дикой сои обладают супероксиддисмутаза, пероксидаза, РНКазы и эстераза, которые можно использовать как маркеры процесса адаптации к условиям среды.

Ключевые слова: *Glycine soja*, аскорбиновая кислота, каротин, высшие жирные кислоты, оксидоредуктазы, гидролазы, удельная активность, множественные формы ферментов

DOI: 10.31857/S0033994623010065, **EDN:** YANVXH

Glycine max (L.) Мегг. (соя) — одна из важнейших сельскохозяйственных культур, обеспечивающих продовольственную безопасность человечества [1, 2]. *Glycine max* произошла от дикого предка *Glycine soja* Siebold et Zucc. — однолетнего травянистого, самоопыляющегося растения, имеющего выходящий стебель (рис. 1). Все растение *G. soja* покрыто бурными волосками, направленными вниз, листья сложные, тройчатые [3]. Хорошо изучены морфологические признаки *G. soja*. А.Я. Ала выявил вариабельность формы и размеров листовых пластинок, цвета семян и других характеристик образцов *G. soja* [4]. В природе *G. soja* произрастает на солнечных склонах, вдоль обочин дорог, на берегах водоемов, в редколесьях, а также в местообитаниях с высоким уровнем антропогенного

воздействия (на заброшенных полях, сельскохозяйственных угодьях, вокруг деревень). Разрушение естественных местообитаний сои из-за расчистки земель для сельскохозяйственных или промышленных целей привело к сокращению ресурсов дикой гермоплазмы [5].

Первичным генетическим центром происхождения *G. soja* являются Северо-Восточный Китай, Тайвань, Япония, Корея и Дальний Восток России (северная граница ареала в Амурской обл.). Одной из причин высокого генетического разнообразия дальневосточных образцов дикой сои является контрастность климатических условий, что позволяет использовать *G. soja* в селекционных программах для повышения адаптивного потенциала новых сортов [6]. Изучение естествен-



Рис. 1. *Glycine soja* Siebold & Zucc: *a* — растения дикой сои на опытном участке ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое Тамбовского района Амурской области); *b* — форма дикой сои КА-1413; *c* — цветок дикой сои.

Fig. 1. *Glycine soja* Siebold & Zucc: *a* — wild soybean plants on the crop rotation field of the All-Russian Research Institute of Soybean (Sadovoe village, Tambov District, Amur Region); *b* — wild soybean form KA-1413; *c* — wild soybean flower.

ных и антропогенных популяций дикой сои, содержащих уникальные и полезные гены, которые были потеряны при одомашнивании, позволяет создавать уникальные природные банки генов дикой сои как ближайшего родственника культурной сои [2, 7–9].

Главной задачей селекционеров является создание сортов сои с повышенной урожайностью и высокой приспособленностью к неблагоприятным условиям окружающей среды [10]. Генетическое разнообразие зернобобовых сократилось из-за селекционной деятельности, направленной на искусственный отбор хозяйственно ценных признаков. Поэтому новые сорта сои, полученные в основном методом гибридизации, обладают характеристиками, генетически отличными от их диких предков [11]. По сравнению с *G. soja*, культурная соя потеряла около 50% генетического разнообразия [12]. Одна из основных причин истощения резервов генофонда для селекции хозяйственно-ценных признаков, узкая норма реакции современных сортов сои [7].

Ряд авторов, в том числе Ала А.Я., Калицкая Н.Г., Синеговская В.Т., считают, что для повышения адаптации новых сортов сои в селекционный процесс важно вовлекать дикие формы сои в качестве доноров скороспелости, многосемянности, высокобелковости и устойчивости к ряду болезней [13–17], что позволяет полнее использовать потенциальные возможности этой культуры [2, 18, 19]. Дикая соя является высокобелковой масличной культурой. Содержание белка в семенах дикой сои варьирует от 47.9 до 52.3%, масла —

от 9.3 до 12.0% [20, 21]. Между содержанием белка и масла в семенах сои существует обратная корреляция [22]. Для *G. soja* характерно повышенное содержание α -линоленовой кислоты в масле семян [23].

Литературный анализ показал, что *G. soja* филогенетически диверсифицирована и адаптирована к различным средам обитания, обладает устойчивостью к различным абиотическим и биотическим стрессам [21, 24–26]. Гибридизация *G. max* и *G. soja* способствует созданию новых культурных сортов с повышенной стрессоустойчивостью [27].

Устойчивость растений к условиям среды является важной составляющей адаптивного потенциала сортов зернобобовых и масличных культур, которая в основном определяется антиоксидантной системой (АОС). Среди низкомолекулярных метаболитов АОС, наибольший интерес вызывают аскорбиновая кислота и каротиноиды. Аскорбиновая кислота (АК), которая синтезируется в цитозоле, принимает участие в детоксикации пероксида водорода и ингибировании перекисного окисления липидов (ПОЛ) [28, 29]. В составе антенных комплексов реакционных центров хлоропластов функционируют каротиноиды, которые постоянно снижают содержание синглетного кислорода [30]. Хайрулина Т.П. и Семенова Е.А. установили, что в условиях водного стресса семена дикой сои больше накапливают аскорбиновой кислоты и токоферола, чем семена культурной сои [31].

Адаптация сои к условиям произрастания определяется на биохимическом уровне. Известно, что с

условиями выращивания сои связано изменение активности ферментов [24]. Оксидоредуктазы являются универсальными индикаторами состояния растения [32]. В группу оксидоредуктаз включают супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ), пероксидазу (ПОД), полифенолоксидазу (ПФО) [33, 34], которые являются антиоксидантами и участвуют в детоксикации активных форм кислорода [35]. СОД катализирует реакцию восстановления супероксидрадикала до пероксида водорода. Высокий уровень ее активности коррелирует с устойчивостью растений к засухе, патогенным воздействиям, другим биотическим и абиотическим факторам [26]. КАТ устраняет избыточное количество пероксида водорода, однако вследствие низкого сродства к субстрату она эффективна только при высоких концентрациях H_2O_2 [36]. Активность ПОД меняется в зависимости от состава почв, температурного режима, влияния вирусных и бактериальных патогенов, ее активность повышается при усилении метаболизма — во время весеннего активного роста и в период цветения [37]. ПФО — защитный фермент, который играет важную роль в деградации фенолов и флавоноидов растений. Показано, что в стрессовых условиях ее активность в клетке возрастает, что препятствует распространению АФК [32].

Интерес к ферментам класса гидролаз связан с их участием в инициации и развитии патологического процесса в растительных тканях. Ферменты углеводного обмена участвуют в гидролизе, синтезе и модификации углеводов. Они являются перспективными биомаркерами [38]. Важно заметить, что эстеразы катализируют многочисленные реакции гидролиза сложных эфиров и обладают высокой каталитической активностью [39]. К защитным ферментам, обладающим широкой субстратной специфичностью и способным нейтрализовать действие большого спектра вирусных, бактериальных и других инфекций, относится рибонуклеаза (РНКаза). У большинства вирусов растений генетический материал представлен РНК, поэтому можно предположить, что экстраклеточные РНКазы, индуцируемые повреждением, являются одним из компонентов противовирусной защиты на начальных этапах инфекции.

Для решения самых разных проблем в биологии, в частности популяционного генетического разнообразия дикой сои, широко используются изоферментные системы, в том числе их множественные формы [40–44]. Белковые маркеры позволяют анализировать изменчивость отдельных локусов у разных генотипов, не прибегая к скрещиваниям, так как, например, электрофоретически выявляемые изоферменты можно рассматривать как маркеры соответствующих генов [43, 45]. Изменения абиотических и биотических факторов среды приводят к появлению новых множественных форм ферментов, что является

свидетельством адаптивной реакции растений. [46, 47]. Учитывая вышесказанное, для исследований дикой сои выбраны ферменты: супероксиддисмутазы (СОД, К.Ф. 1.15.1.1), каталаза (КАТ, К.Ф. 1.11.1.6), пероксидаза (ПОД, К.Ф. 1.11.1.7), полифенолоксидаза (ПФО, КФ 1.10.3.1), рибонуклеаза (РНКаза, К.Ф. 3.1), кислая фосфатаза (К.Ф. 3.1.3.2), эстераза (К.Ф. 3.1.1.X) и амилаза (К.Ф. 3.2.1.1).

В настоящее время использование биохимических показателей в качестве диагностических критериев устойчивости растений к условиям прирастания является актуальным направлением. Ожидается, что использование дикой сои увеличится в результате постоянного улучшения информации о геноме и генетическом разнообразии вида, а также совершенствования инструментов селекции [48, 49]. Это основано на предположении, что дикие образцы будут легко доступны для исследований и селекции сои, что требует не только характеристики по морфологическим и хозяйственно ценным показателям, но и проведения их биохимического и генетического мониторинга для сохранения в качестве генетического материала в банках генов. Комплексное исследование *G. soja* обогатит генетическую и биохимическую основу ее выращивания, совершит прорыв в селекции, обеспечит устойчивое развитие соевой отрасли и позволит эффективно использовать ее генетические ресурсы [11].

Цель исследования — изучение компонентного состава семян коллекционных образцов *G. soja* ФГБНУ ФНЦ Всероссийского научно-исследовательского института сои (ФНЦ ВНИИ сои) для дальнейшего использования их в селекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были семена 5 образцов *Glycine soja*, отобранные в 3 районах Амурской обл. (рис. 2): КА-1413, КА-342 (Архаринский р-н), КБл-29, КБл-24 (Благовещенский р-н) и КБел-72 (Белогорский р-н), которые являются уникальными природными банками генов. Семена дикой сои выращены в 2019 г. на участке полевого севооборота ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое, Тамбовского р-на, Амурской обл.).

Полевые опыты закладывали на луговой черноземовидной почве по технологии возделывания сои, разработанной для южной сельскохозяйственной зоны Амурской обл. [50]. Материал отбирали и анализировали в 2020 г. Анализ содержания малонового диальдегида (МДА), каротина, аскорбиновой кислоты и активности ферментов в семенах образцов *G. soja* проводили в лаборатории биотехнологии ФНЦ ВНИИ сои.

Экстракт белков сои получали путем гомогенизации семян (500 мг) в 0.15 М NaCl при 5 °C в

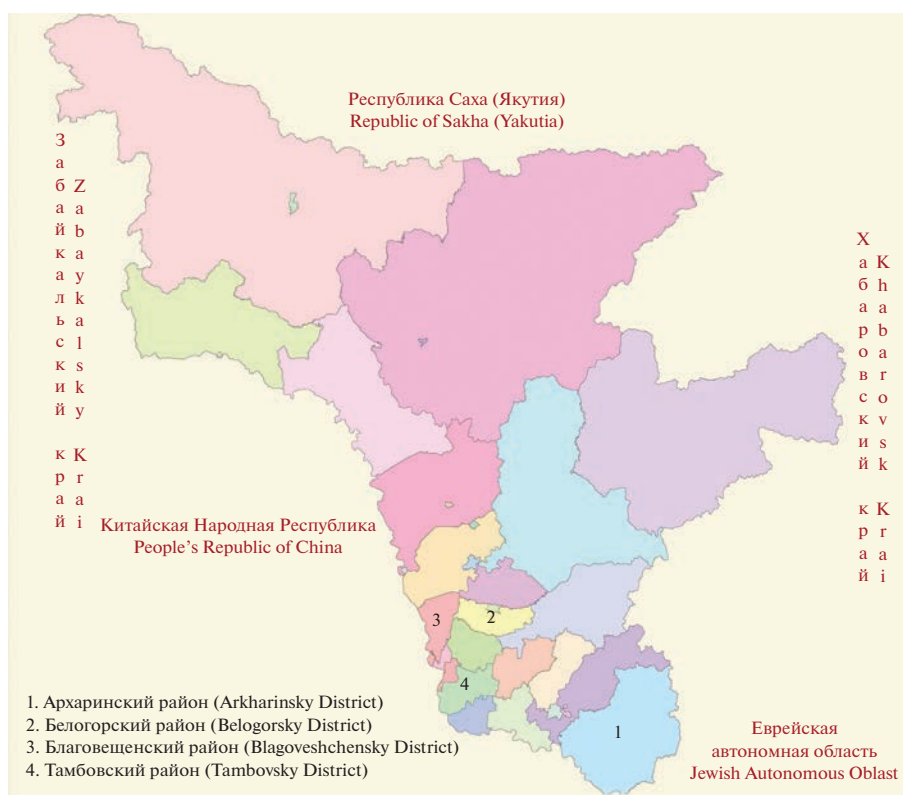


Рис. 2. Районы происхождения исследуемых образцов *Glycine soja* Sieb. et Zucc. 1 – Архаринский р-н (КА-1413, КА-342), 2 – Белогорский р-н (КБел-72), 3 – Благовещенский р-н (КБл-29, КБл-24), 4 – Тамбовский р-н.

Fig. 2. Areas of origin of the studied *Glycine soja* Sieb. et Zucc. forms. 1 – Arkharinsky District (KA-1413, KA-342), 2 – Belogorsky District (KBel-72), 3 – Blagoveshchensk District (KBl-29, KBl-24), 4 – Tambovsky District.

течение 15 мин. Затем экстракт центрифугировали в течение 15 мин при 3000 об./мин. После центрифугирования осадок отбрасывали, в надосадочной жидкости определяли содержание белка, МДА и удельную активность ферментов [34, 51, 52].

Содержание белка определяли по методу Лоури на спектрофотометре CARY 50, при длине волны 750 нм относительно контроля в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см [53], МДА — по реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК), которая при высокой температуре (100 °C) в кислой среде (pH 2.5–3.5) протекает с образованием окрашенного триметинового комплекса. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре CARY 50 при длине волны 532 нм относительно контроля, содержащего реакционную смесь и экстракт белка, но без ТБК, в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см [51].

Определение содержания белка, масла и ЖК проводили в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции ФНЦ ВНИИ сои методом спектроскопии в ближней инфракрасной области с использованием анализатора “FOSS NIR Systems 5000”.

Содержание каротина определяли фотоколориметрическим методом по методике Б.П. Плеш-

кова при длине волны 440 нм относительно стандарта — бихромата калия (количество каротина в 1 мл соответствует 0.00416 мг). Содержание витамина рассчитывали в мг/100 г [54]. Аскорбиновую кислоту определяли общепринятым методом биохимического исследования растений по методике А.И. Ермакова, титрованием краской Тильманса. Содержание АК рассчитывали в мг% [55].

Активность СОД измеряли на спектрофотометре CARY 50, метод основан на ингибировании ферментом фотохимического восстановления тетразолиевого нитросинего, при длине волны 560 нм относительно темнового контроля в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см. Активность КАТ определяли спектрофотометрическим методом при длине волны 240 нм по скорости разложения пероксида водорода с образованием воды и кислорода, относительно контроля в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см [34]. Активность ПОД измеряли колориметрическим методом по А.Н. Бояркину в модификации А.Т. Мокроносова на КФК-2 при длине волны 670 нм в кювете с поглощающим слоем 2 см, по скорости реакции окисления бензидина до образования бензидинового синего в присутствии пероксида водорода. Активность ПФО регистрировали на фотоэлектроколориметре КФК-2 по ме-

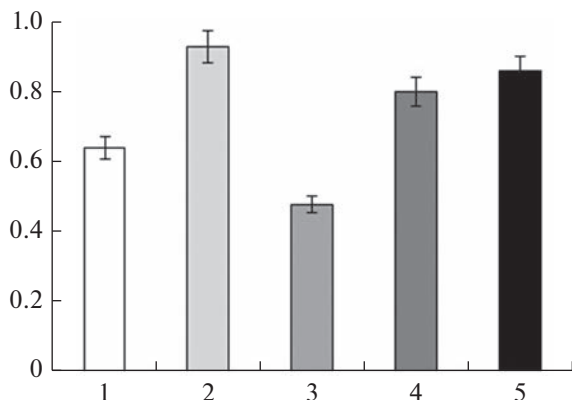


Рис. 3. Содержание МДА в семенах *Glycine soja* Sieb. et Zucc. По горизонтали: 1 – КБл-24, 2 – КБл-29, 3 – КБел-72, 4 – КА-342, 5 – КА-1413; по вертикали: содержание малонового диальдегида, мкмоль/г сырой массы.

Fig. 3. MDA content in wild soybean seeds. X-axis: 1 – KBl-24, 2 – KBl-29, 3 – KBel-72, 4 – KA-342, 5 – KA-1413; y-axis: malondialdehyde content, μmol/g fresh weight.

тоду Ермакова А.И., основанном на измерении оптической плотности продуктов реакции, образовавшихся при окислении пирокатехина за определенный промежуток времени (20 с), при длине волны 590 нм в течение 2 мин в кювете с поглощающим слоем 2 см [52].

Удельную активность РНКазы определяли с высокополимерной РНК из дрожжей в качестве субстрата спектрофотометрическим методом при длине волны 260 нм, относительно контроля, в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см. Удельную активность кислой фосфатазы измеряли на спектрофотометре CARY 50 с *n*-нитрофенилфосфатом (динатриевая соль) в качестве субстрата, при длине волны 415 нм относительно контроля в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см. Удельную активность эстеразного комплекса анализировали по методу Ван Асперна при длине волны 550 нм на спектрофотометре CARY 50 против контроля, с толщиной поглощающего слоя 1 см. Удельную активность амилазного комплекса определяли спектрофотометрическим методом по количеству негидролизованного нерасщепленного амилазы крахмала после обработки 0.3%-м раствором I_2 в 3%-м водном растворе KI. Оптическую плотность измеряли при длине волны 670 нм относительно воды в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см [56].

Электрофоретические спектры исследуемых ферментов выявляли методом электрофореза на пластинках 8 и 10%-ого полиакриламидного геля в камере для вертикального электрофореза Mini-PROTEAN Tetra (Bio-Rad) [57]. Окрашивание на геле форм ферментов проводили соответствующими гистохимическими методами [56, 58–60].

Стандартным критерием для характеристики множественных форм ферментов являлась их относительная электрофоретическая подвижность (Rf). Нумерация форм для ферментов приведена в порядке возрастания от высокоподвижных к низкоподвижным формам. Каждой форме было присвоено свое сокращенное обозначение в соответствии со значениями их Rf [46, 61].

Все биохимические исследования проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях [62]. При анализе количественных и качественных признаков использовался метод корреляционного анализа. Полученные экспериментальные данные были обработаны статистически. Результаты выражали как среднее ($n = 6$) $\pm$ стандартное отклонение, различия считались статистически значимыми при $p \leq 0.5$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Малоновый диальдегид. Известно, что содержание МДА может служить показателем активности окислительных процессов и отражать адаптационную способность растений [63]. В результате исследований нами установлена повышенная концентрация МДА в семенах сои, отобранных из Архаринского р-на, КА-342 и КА-1413 (0.8 и 0.86 мкмоль/г сухой массы соответственно), а также КБл-29 (0.93 мкмоль/г сухой массы) (рис. 3). Низкое содержание МДА выявлено у образца КБел-72 (0.50 мкмоль/г сухой массы) из Белогорского р-на.

Биохимические показатели. Известно, что содержание белка у дикой сои отрицательно соотносится с масличностью, что показали и наши исследования [21]. В результате изучения компонентного состава семян различных образцов дикой сои выявили повышенное содержание белка у КА-1413 (47.4%) с одновременным снижением содержания масла (9.6%), что указывало на усиление метаболических процессов (табл. 1). На основании этого предположили, что снижение содержания масла связано с его расходом на синтез АТФ.

Содержание ненасыщенных ВЖК, в частности олеиновой и линоленовой, значительно варьировало. В результате анализа установили повышенное содержание олеиновой кислоты в семенах КА-1413 (30.0%) и минимальное – в семенах КБл-24 (20.2%). Причем в образце КА-1413 отмечено на 2% более высокое содержание линоленовой кислоты относительно других образцов дикой сои, что связано с защитными механизмами, в которых участвует эта кислота [64]. Заметим, что при этом содержание насыщенных карбоновых кислот (стеариновой и пальмитиновой) в семенах образца *G. soja* КА-1413 достаточно низкое (3.51 и 9.10% соответственно), а их максимальное содер-

Таблица 1. Биохимические показатели семян образцов *Glycine soja* Sieb. et Zucc., %
Table 1. Biochemical parameters of *Glycine soja* specimen seeds, %

Показатель Indicator	Образец <i>Glycine soja</i> <i>Glycine soja</i> specimen				
	КБл-24 KBl-24	КБл-29 KBl-29	КБел-72 KBel-72	КА-342	КА-1413
Белок Protein	44.18	44.93	45.29	44.82	47.37
Масло Oil	10.39	9.97	10.08	10.12	9.60
Стеариновая кислота Stearic acid	3.77	3.74	3.67	3.67	3.51
Пальмитиновая кислота Palmitic acid	9.41	9.27	8.97	9.08	9.10
Олеиновая кислота Oleic acid	20.20	23.55	27.41	26.41	30.02
Линолевая кислота Linoleic acid	50.96	50.80	50.75	50.80	51.09
Линоленовая кислота Linolenic acid	11.48	11.93	11.75	11.89	13.74

жение обнаружено в семенах КБл-24 (3.77 и 9.41% соответственно).

Качество соевого масла зависит от содержания высших ненасыщенных карбоновых кислот. Для улучшения качества масла необходимо, чтобы в семенах было больше олеиновой, и меньше линоленовой кислоты [64, 65]. Установлено повышенное содержание линоленовой, олеиновой и линолевой кислот в семенах образца *G. soja* КА-1413, что соотносится с повышением содержания белка, и согласуется с литературными данными [66]. В ходе проведенных исследований выявили, что в семенах образца *G. soja* КА-1413 содержание олеиновой кислоты увеличивалось в большей, а линоленовой — в меньшей степени. Из этого мы предполагаем, что качество масла культурной сои улучшится, если ввести КА-1413 в селекционный процесс.

Витамин С и каротин. Исследуемые низкомолекулярные антиоксиданты ингибируют образование АФК. В результате анализа АК и каротина зафиксировано наиболее высокое содержание каротина в семенах образца *G. soja* КБл-24 (0.18 мг/100г), а АК — в КА-342 (52.92 мг%) (рис. 4), что препятствует повреждающему влиянию активных форм кислорода на семена и способствует их лучшей адаптации к условиям выращивания. Следует отметить повышенное содержание каротина в семенах сои, собранных в Благовещенском и Белогорском р-нах, а аскорбиновой кислоты — на самом юге Амурской обл. (в Архаринском р-не).

Оксидоредуктазная активность. К наиболее информативным показателям внутриклеточного

метаболизма относятся оксидоредуктазы. Удельная активность супероксиддисмутазы (СОД) в семенах всех исследуемых образцов дикой сои была примерно одинаковой и варьировала в пределах 150–180 ед./мг белка. Установлена пониженная активность ПФО (полифенолоксидазы) в семенах всех исследуемых образцов *G. soja* (1.0–2.19 ед./мг белка), особенно — в КА-1413 (0.2 ед./мг белка) (рис. 5а). Это, видимо, связано с незначительными окислительными процессами и высокой активностью других антиоксидантных ферментов. Например, удельная активность ПОД (пероксидазы) в семенах исследуемых образцов дикой сои была очень высокой (361–801 ед./мг белка). Известно, что ПОД и КАТ являются ферментами-антагонистами в семенах и проростках сои [46]. Так, повышение удельной активности ПОД повлекло снижение удельной активности КАТ. Низкая удельная активность КАТ в семенах образцов *G. soja* КА-342 и КА-1413, видимо, компенсировалась повышением количества форм ПОД (до трех форм) (рис. 6).

Анализ схем энзимограмм оксидоредуктаз семян дикой сои позволил выявить 6 форм СОД, 2 формы — КАТ, 3 формы — ПОД и 1 форму — ПФО. Следует отметить, что количество МФ в СОД и ПФО было постоянным в семенах всех исследуемых образцов дикой сои. Количество множественных форм каталазы было стабильно во всех образцах (по 1 форме), но электрофоретическая подвижность (R_f) их отличалась. Изучение множественных форм ПОД позволило выявить три формы в семенах сои КБел-72, КА-342 и КА-1413.

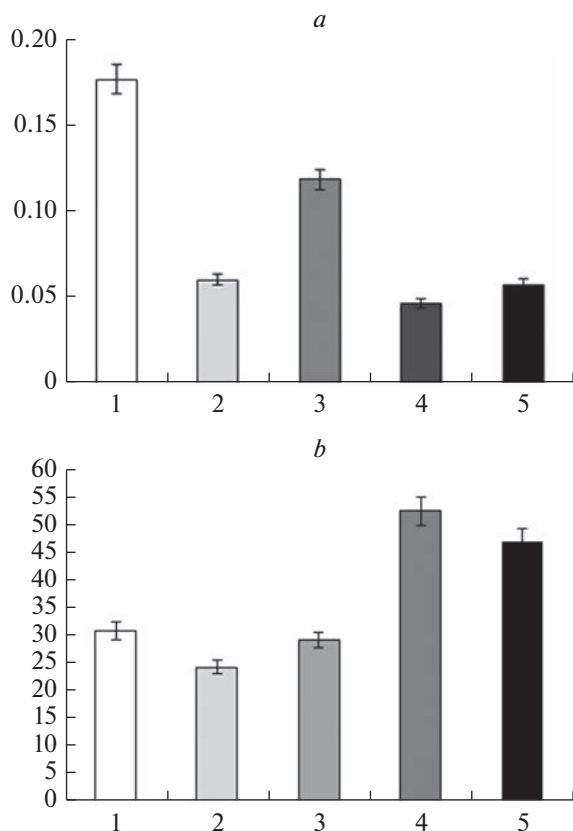


Рис. 4. Содержание каротина (а) и аскорбиновой кислоты (b) в семенах *Glycine soja* Sieb. et Zucc. По горизонтالي: 1 – КБл-24, 2 – КБл-29, 3 – КБел-72, 4 – КА-342, 5 – КА-1413; по вертикали: содержание каротина, мг/100 г (а) и аскорбиновой кислоты, мг% (b).
Fig. 4. Carotene (a) and ascorbic acid (b) content in *Glycine soja* Sieb. et Zucc. seeds. X-axis: 1 – KBl-24, 2 – KBl-29, 3 – KBel-72, 4 – KA-342, 5 – KA-1413; y-axis: carotene content, mg/100 g (a) and ascorbic acid content, mg% (b).

Пониженная активность антиоксидантных ферментов соотносится с повышением содержания в семенах сои каротина и аскорбиновой кислоты.

Гидролитическая активность. Важной составляющей защитного ответа растений на действие патогенов является образование соединений, подавляющих гидролитическую активность микроорганизмов. Принимая во внимание тот факт, что у большинства вирусов растений генетический материал представлен РНК, можно предположить, что экстраклеточные РНКазы, индуцируемые поражением, являются одним из компонентов противовирусной защиты. Это подтверждает гипотезу об участии экстраклеточных РНКаз растений в формировании устойчивости к вирусам [67, 68]. Полученные нами результаты о повышенной удельной активности РНКазы в семенах исследуемых образцов дикой сои, за исключением образца КБл-29, свидетельствуют об их повышенной вирусоустойчивости (рис. 5b). Анализ

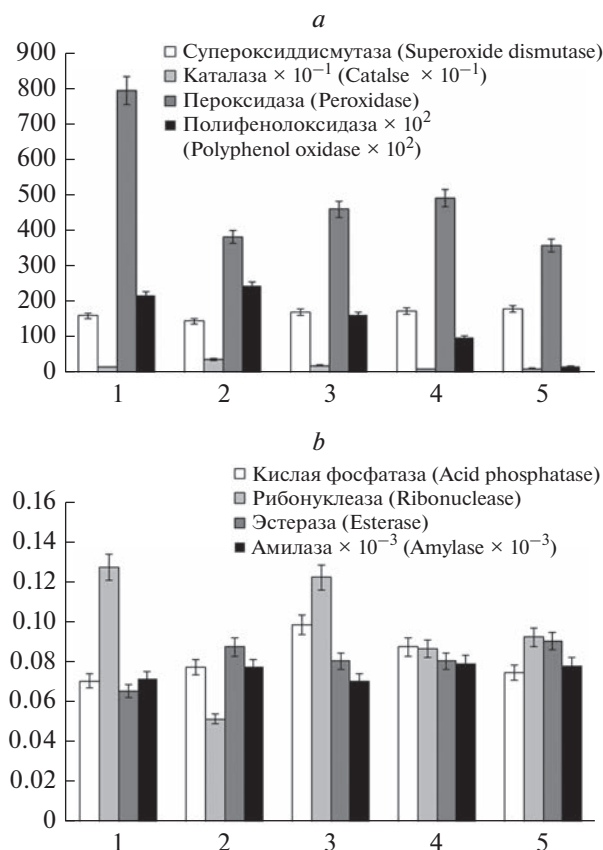


Рис. 5. Удельная активность оксидоредуктаз (а) и гидролаз (b) семян *Glycine soja* Sieb. et Zucc. По горизонтали: 1 – КБл-24, 2 – КБл-29, 3 – КБел-72, 4 – КА-342, 5 – КА-1413; по вертикали: удельная активность оксидоредуктаз (а) и гидролаз (b) (Aуд ед./мг белка).

Fig. 5. Specific activity of oxidoreductases (a) and hydrolases (b) of wild soybean seeds. X-axis: 1 – KBl-24, 2 – KBl-29, 3 – KBel-72, 4 – KA-342, 5 – KA-1413; y-axis: specific activity of oxidoreductases (a) and hydrolases (b) (A_{уд} unit/mg of protein).

энзимограмм РНКаз семян дикой сои выявил одинаковые спектры из трех форм во всех исследуемых образцах (рис. 7). Удельная активность кислой фосфатазы семян различных образцов *G. soja* низкая (0.071–0.099 ед./мг белка) (рис. 5b) и соотносится с одной выявленной стабильной формой кислой фосфатазы КФ7 (Rf = 0.35) (рис. 7).

Удельная активность эстеразы в семенах всех исследуемых образцов дикой сои варьировала от 0.066 ед./мг белка у КБл-29 до 0.091 ед./мг белка у КБл-24. Максимум эстеразной активности выявлен в семенах КБел-72, где также зафиксирована достаточно высокая удельная активность РНКазы. Причем спектр множественных форм эстераз был также стабилен во всех исследуемых образцах семян *G. soja* и выявил по три формы фермента с одинаковой электрофоретической подвижностью. Возможно, повышение эстеразной активности обусловле-

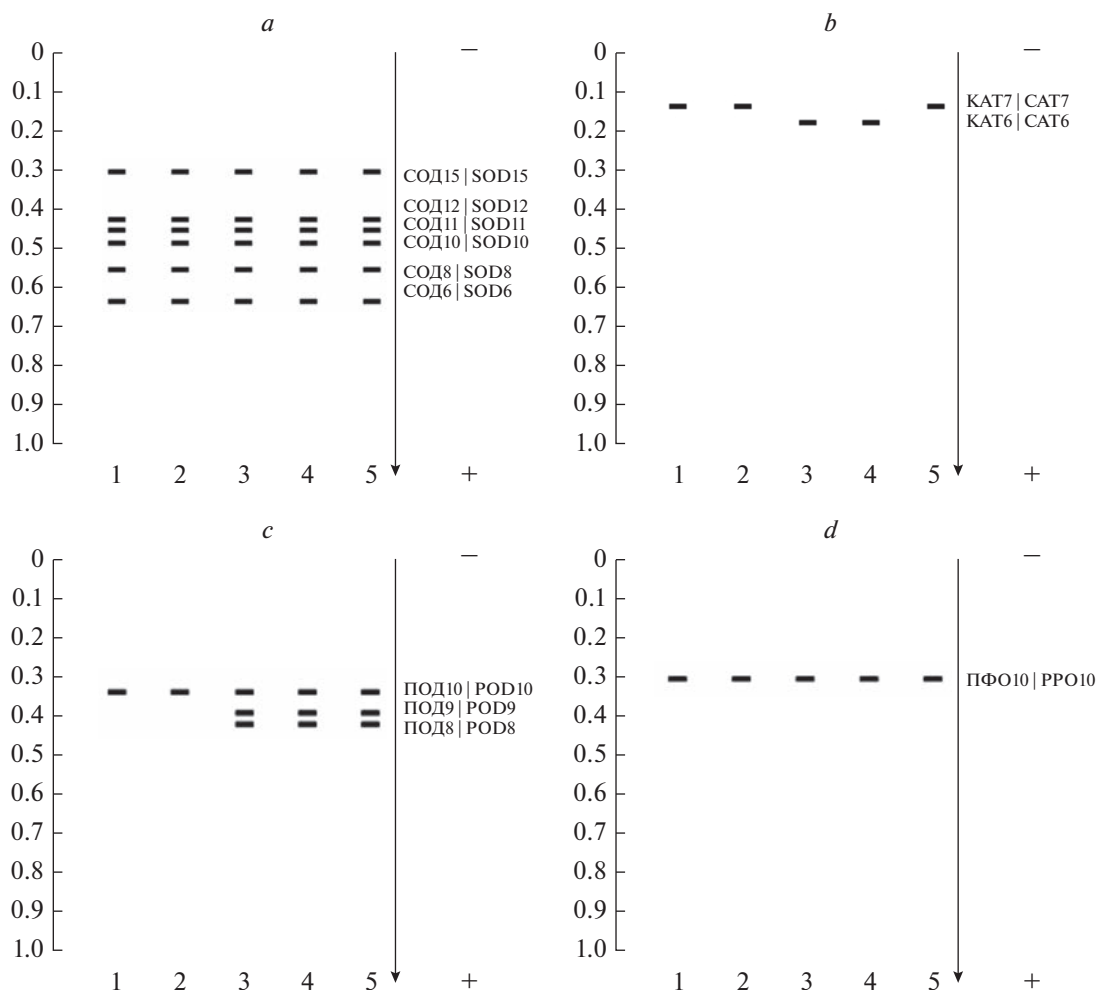


Рис. 6. Схемы энзимогрaмм оксидоредуктаз (супероксиддисмyтаз (a), каталаз (b), пероксидаз (c) и полифенолоксидаз (d)) семян *Glycine soja* Sieb. & Zucc. По горизонтaли: 1 – КБл-24, 2 – КБл-29, 3 – КБел-72, 4 – КА-342, 5 – КА-1413; по вертикали: относительная электрофоретическая подвижность (Rf). → – направление электрофореза от катода к аноду.

Fig. 6. Enzymogram schemes of the oxidoreductases (superoxide dismutases (a), catalases (b), peroxidases (c) and polyphenol oxidases (d)) of wild soybean seeds. X-axis: 1 – KBl-24, 2 – KBl-29, 3 – KBel-72, 4 – KA-342, 5 – KA-1413; y-axis: Relative electrophoretic mobility (Rf). → – electrophoresis direction from cathode to anode.

но усилением метаболизма, вызванного гидролизом сложных эфиров. Удельная активность амилазы в семенах исследуемых образцов *G. soja* повышена (71–80 ед./мг белка), по сравнению с семенами культурной сои (в среднем 55 ед./мг белка), что свидетельствует об усиленном гидролизе крахмала. Множественные формы амилаз семян образцов *G. soja* различались по числу форм фермента. Одна форма фермента выявлена в семенах, собранных в Архаринском р-не, что соотносится с одинаковой удельной активностью амилазы. Максимум множественных форм амилазы (3 формы) выявлен в семенах сои КБл-29 и КБел-72.

Анализ результатов энзиматической активности выявил высокое сходство образцов из Архаринского района по гидролазам, СОД, КАТ и различия по ПОД и ПФО, и незначительные разли-

чия в электрофоретических спектрах (кроме КАТ). Электрофоретические спектры исследуемых ферментов семян дикой сои, полученных из разных районов, практически не отличались друг от друга (за исключением ферментов КАТ, ПОД и амилазы). Следует отметить, что повышенной гетерогенностью в семенах дикой сои обладают СОД, ПОД, РНКаза и эстераза, которые можно использовать как маркеры адаптации.

Таким образом, на основании результатов исследования энзиматической активности и биохимического состава семян различных образцов дикой сои, рекомендуется использовать образец *G. soja* КА-1413 для введения в селекцию в качестве источника генов, что будет способствовать повышению адаптивного потенциала вновь созданных сортов сои. Это подтверждает сбаланси-

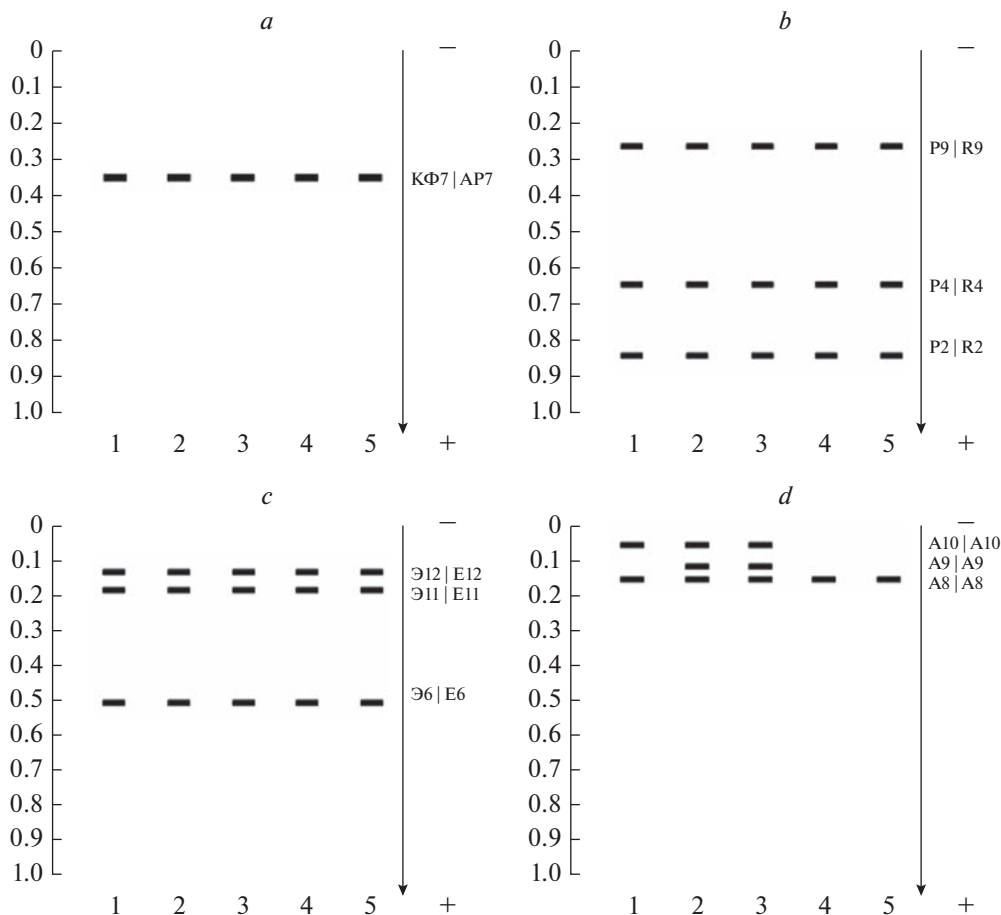


Рис. 7. Схемы энзимогрaмм гидролаз (кислых фосфатаз (a), рибонуклеаз (b), эстераз (c), амилаз (d)) семян *Glycine soja* Sieb. et Zucc. По горизонтали: 1 – КБл-24, 2 – КБл-29, 3 – КБел-72, 4 – КА-342, 5 – КА-1413; по вертикали: относительная электрофоретическая подвижность (Rf). → – направление электрофореза от катода к аноду.

Fig. 7. Enzymogram schemes of the hydrolases (acid phosphatases (a), ribonucleases (b), esterases (c), amylases (d)) of wild soybean seeds. X-axis: 1 – KBI-24, 2 – KBI-29, 3 – KBel-72, 4 – KA-342, 5 – KA-1413; y-axis: relative electrophoretic mobility (Rf). → – electrophoresis direction from cathode to anode.

рованный обмен фосфатов, липидов, углеводов и нуклеиновых кислот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения адаптивного потенциала создаваемых сортов *Glycine max* (L.) Merr. (культурной сои) и введения их в селекцию в качестве источника устойчивых генов, целесообразно отбирать образцы *Glycine soja* Sieb. et Zucc. (дикая соя) с высокими биохимическими показателями компонентов, низким значением активности ПФО и повышенной активностью СОД, эстеразы и РНКазы.

Показано, что этим требованиям соответствует образец КА-1413 (содержание белка составляет 47.37%; содержание олеиновой кислоты – 30.02%, линоленовой кислоты – 13.74%, линолевой кислоты – 51.09%; $A_{\text{уд}}(\text{ПФО}) = 2.00 \pm 0.02$ ед./мг белка; $A_{\text{уд}}(\text{СОД}) = 182 \pm 14$ ед./мг белка; $A_{\text{уд}}(\text{РНКазы}) = 0.093 \pm 0.011$ ед./мг белка; $A_{\text{уд}}(\text{Э}) = 0.091 \pm 0.008$ ед./мг белка). Повышенной гетерогенностью в семенах дикой сои обладают СОД, ПОД, РНКазы и эстеразы, которые можно использовать как маркеры процесса адаптации к условиям среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kofsky J., Zhang H., Song B.H. 2018. The Untapped Genetic Reservoir: The Past, Current, and Future Applications of the Wild Soybean (*Glycine soja*). – Front. Plant Sci. 9: 949. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00949>
2. Zhuang Y., Li X., Hu J., Xu R., Zhang D. 2022. Expanding the gene pool for soybean improvement with its wild relatives. – aBIOTECH. 3(2): 115–125. <https://doi.org/10.1007/s42994-022-00072-7>

3. Тучкова Т.П., Душко О.С. 2016. Изучение хозяйственно ценных признаков у диких форм сои в Приамурье. — Дальневосточный аграрный вестник. 4(40): 80–85.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30682421>
4. Ала А.Я. 2000. Изучение коллекции дикой сои по хозяйственно ценным и морфологическим признакам. — Вопросы биологии и технологии возделывания сои на Дальнем Востоке России. Благовещенск. С. 26–31.
5. Nawaz M.A., Yang S.H., Rehman H.M., Baloch F.S., Lee J.D., Park J.H., Chung G. 2017. Genetic diversity and population structure of Korean wild soybean (*Glycine soja* Sieb. and Zucc.) inferred from microsatellite markers. — Biochem.Sys. Ecol. 71: 87–96.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.02.002>
6. Недолужко А.В. 2008. Исследование генетической структуры популяций дикой сои, как элемент изучения биобезопасности генетически модифицированных растений в центрах происхождения и разнообразия вида: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 26 с.
7. Козак М.Ф. 2004. Вопросы эволюционной морфологии и цитогенетики сои. Астрахань. 166 с.
<https://science.asu.edu.ru/index.php/files/download/3646>
8. Тихонов А.В., Мартынов В.В., Дорохов Д.Б. 2011. Изучение взаимовлияния субпопуляций дикой сои (*Glycine soja*) в долине реки Цукановки на юге Дальнего Востока России. — Цитология и генетика. 45(4): 16–22.
<https://doi.org/10.3103/S0095452711040116>
9. Nawaz M.A., Yang S.H., Chung G. 2018. Wild Soybeans: An Opportunistic Resource for Soybean Improvement. — In: Rediscovery of Landraces as a Resource for the Future. InTech.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.74973>
10. Xavier A., Jarquin A.D., Howard R., Ramasubramanian V., Specht J.E., Graef G.L., Beavis W.D., Diers B.W., Song Q., Cregan P.B., Nelson R., Mian R., Shannon J.G., McHale L., Wang D., Schapaugh W., Lorenz A.J., Xu S., Muir W.M., Rainey M. 2018. Genome-Wide analysis of grain yield stability and environmental interactions in a multiparental soybean population. — G3: Genes Genomes Genetics. 8(2): 519–529.
<https://doi.org/10.1534/g3.117.300300>
11. Zhou Z., Jiang Y., Wang Z., Gou Z., Lyu J., Li W., Yu Y., Shu L., Zhao Y., Ma Y., Fang C., Shen Y., Liu T., Li C., Li Q., Wu M., Wang M., Wu Y., Dong Y., Wan W., Wang X., Ding Z., Gao Y., Xiang H., Zhu B., Lee S.H., Wang W., Tian X. 2015. Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean. — Nature Biotechnology. 33(4): 408–415.
<https://doi.org/10.1038/nbt.3096>
12. Hyten D.L., Song Q., Zhu Y., Choi I.Y., Nelson R.L., Costa J.M., Specht J.E., Shoemaker R.C., Cregan P.B. 2006. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. — PNAS. 103(45): 16666–16671.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0604379103>
13. Ала А.Я. 2001. Использование генофонда дикой и культурной сои в генетико-селекционных исследованиях. — В сб.: Генетические ресурсы культурных растений: Мат. межд. научн. конф. Санкт-Петербург. С. 195–196.
14. Ала В.С. 2006. Передача наследственной информации от родителей к потомкам у межвидовых гибридов сои *G. max* × *G. soja*. — В сб.: Научное обеспечение соеводства Дальнего Востока и Сибири: сб. науч. трудов. Благовещенск. С. 35–41. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36293445>
15. Козак М.Ф. 2018. Результаты исследований гибридов культурной и дикорастущей сои. Естественные науки. 1(62): 7–27.
16. Минькач Т.В., Селихова О.А. 2019. Селекционно-генетический анализ межвидовых гибридов сои первого поколения. — Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 8(178): 48–54.
<http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/830/817>
17. Калицкая Н.Г., Синеговская В.Т., Кобозева Т.П. 2021. Оценка межвидовых и внутривидовых гибридов сои первого поколения. — Вестник российской сельскохозяйственной науки. 6: 4–7.
<https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/4-7>
18. Chen Q., Wang X., Yuan X., Shi J., Zhang C., Yan N., Jing C. 2021. Comparison of phenolic and flavonoid compound profiles and antioxidant and α-glucosidase inhibition properties of cultivated soybean (*Glycine max*) and wild soybean (*Glycine soja*). — Plants. 10(4): 813.
<https://doi.org/10.3390/plants10040813>
19. Li Y.H., Li W., Zhang C., Yang L., Chang R.Z., Gaut B.S., Qiu L.J. 2010. Genetic diversity in domesticated soybean (*Glycine max*) and its wild progenitor (*Glycine soja*) for simple sequence repeat and single-nucleotide polymorphism loci. — New Phytol. 188(1): 242–253.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03344.x>
20. Ала А.Я., Ала В.С., Тучкова Т.П., Ван Лан. 2009. Характеристика генофонда дикой и культурной сои рода *Glycine* Willd. — Состояние и перспективы научного обеспечения АПК Дальнего Востока. С. 65–71.
21. Иваченко Л.Е., Коничев А.С. 2016. Роль биологически активных веществ сои в адаптации к условиям выращивания. М. 154 с.
22. Kambhampati S., Aznar-Moreno J.A., Hostetler C., Caso T., Bailey S.R., Hubbard A.H., Durrett T.P., Allen D.K. 2020. On the Inverse Correlation of Protein and Oil: Examining the Effects of Altered Central Carbon Metabolism on Seed

- Composition Using Soybean Fast Neutron Mutants. — *Metabolites*. 10(1): 18.
<https://doi.org/10.3390/metabo10010018>
23. Asekova S., Chae J.H., Ha B.K., Dhakal K.H., Chung G., Shannon J.G., Lee J.D. 2014. Stability of elevated α -linolenic acid derived from wild soybean (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) across environments. — *Euphytica*. 195(3): 409–418.
<https://doi.org/10.1007/s10681-013-1004-1>
 24. Иваченко Л.Е., Селихова О.А., Ала А.Я., Ала В.С. 2011. Влияние погодных условий выращивания на биохимический состав семян и морфологические показатели дикорастущей сои. — *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 4(158): 67–72. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20598576>
 25. Lavrent'yeva S.I., Ivachenko L.Y., Golokhvast K.S., Nawaz M.A. 2019. Ribonuclease activity of *Glycine max* and *Glycine soja* sprouts as a marker adaptation to copper sulphate and zinc sulphate toxicity. — *Biochemical Systematics and Ecology*. 83: 66–70.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2019.01.007>
 26. Chang Y., Zhang J., Bao G., Yan B., Qu Y., Zhang M., Tang W. 2020. Physiological Responses of Highland Barley Seedlings to NaCl, Drought, and Freeze-Thaw Stress. — *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(1): 154–161.
<https://doi.org/10.1007/s00344-020-10085-5>
 27. Chaudhary J., Deshmukh R., Mir Z.A., Bhat J.A. 2019. Metabolomics: An Emerging Technology for Soybean Improvement. — In: *Biotechnology Products in Everyday Life*. EcoProduction. Springer. P. 175–186.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-92399-4_12
 28. Шарова Е.И., Медведев С.С., Демидчик В.В. 2020. Аскорбат в апопласте: метаболизм и функции. — *Физиология растений*. 67(2): 115–129.
<https://doi.org/10.31857/S0015330320020153>
 29. Маханова Р.С. 2011. К вопросу изучения перекисного окисления липидов. — *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 1(29): 231–234. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15613202>
 30. Тютяев Е.В. 2015. Состояние фотосинтетических пигментов в листьях инбредных линий и гибридов кукурузы. — *Физиология растений и генетика*. 47(2): 147–159.
 31. Хайрулина Т.П., Семенова Е.А. 2013. Действие температурного и водного стрессоров на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои. — *Вестник КрасГАУ*. 2(77): 22–26.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18964545>
 32. Колесникова М.В. 2018. Активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы под влиянием совместной заправки соломы озимой пшеницы и штамма *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016. — *Научный альманах*. 4–3(42): 200–204. <http://ucom.ru/doc/na.2018.04.03.200.pdf>
 33. Xin J., Zhao X.H., Tan Q.L., Sun X.C., Zhao Y.Y., Hu C.X. 2019. Effects of cadmium exposure on the growth, photosynthesis, and antioxidant defense system in two radish (*Raphanus sativus* L.) cultivars. — *Photosynthetica*. 57(4): 967–973.
<https://doi.org/10.32615/ps.2019.076>
 34. Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Новицкая Л.Л., Подгорная М.Н., Софронова И.Н. 2018. Ферменты антиоксидантной системы — индикаторы разных сценариев ксилогенеза: в раннем онтогенезе и во взрослом состоянии (на примере *Betula pendula* Roth). — *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 6: 68–80.
<https://doi.org/10.17076/eb787>
 35. Kawano T. 2003. Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction. — *Plant cell reports*. 21(9): 829–837.
<https://doi.org/10.1007/s00299-003-0591-z>
 36. Луцкий Е.О., Сундырева М.А., Хаблюк В.В. 2019. Влияние водного и температурного стресса на активность антиоксидантных ферментов винограда. — *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 56(02): 110–121.
<https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-2-56-110-121>
 37. Jumrani K., Bhatia V.S. 2019. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. — *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 25(3): 667–681.
<https://doi.org/10.1007/s12298-019-00657-5>
 38. Li Z., Kitov P.I., Kitova E.N., Mozenah F., Rodrigues E., Chapla D.G., Moremen K.W., Macauley M.S., Klassen J.S. 2020. CUPRA-ZYME: An Assay for Measuring Carbohydrate-Active Enzyme Activities, Pathways, and Substrate Specificities. — *Anal. Chem*. 92(4): 3228–3236.
<https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05007>
 39. Zhou Q., Xiao Q., Zhang Y., Wang X., Xiao Y., Shi D. 2019. Pig liver esterases PLE1 and PLE6: heterologous expression, hydrolysis of common antibiotics and pharmacological consequences. — *Scientific reports*. 9: 15564.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-51580-4>
 40. Конарев В.Г. 1983. Белки растений как генетические маркеры. М. 320 с.
 41. Глазко В.И. 2000. Генетически детерминированный полиморфизм ферментов у некоторых сортов сои (*Glycine max*) и дикой сои (*Glycine soja*). — *Цитология и генетика*. 34(2): 83–90.
 42. Коницев А.С., Попов А.П., Цветков И.Л., Филков П.В. 2005. Ферменты как биохимические маркеры загрязнения воды. — *Приложение к Вестнику МГОУ. Серия “Естественные науки”*. География, экология, экономика: актуальные проблемы науки и образования. М. С. 151–153.

43. Мухина Ж.М., Дубина Е.В. 2011. Молекулярные маркеры и их использование в селекционно-генетических исследованиях. — Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 66(02): 97–107. <http://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/09.pdf>
44. Sharma A., Tripathi M.K., Tiwari S., Gupta N., Tripathi N., Mishra N. 2021. Evaluation of Soybean (*Glycine max* L.) Genotypes on the Basis of Biochemical Contents and Anti-oxidant Enzyme Activities. — Legume Res. — An International Journal. 44(12): 1419–1429. <https://doi.org/10.18805/LR-4678>
45. Mohan M., Nair S., Bhagwat A., Krishna T.G., Yano M., Bhatia C., Sasaki T. 1997. Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. — Molecular Breeding. 3(2): 87–103. <https://doi.org/10.1023/A:1009651919792>
46. Иваченко Л.Е. 2011. Ферменты как маркеры адаптации сои к условиям выращивания. Благовещенск. 192 с.
47. Samadi N., Saeidi-sar S., Abbaspour H., Masoudian N. 2020. Measuring Genes Expression Involved in Enzymatic Defense and ABA Biosynthesis in *Solanum lycopersicum* L. (Red Cloud Cultivar) under Cold Stress. — Russian Journal of Plant Physiology. 67(1): 131–138. <https://doi.org/10.1134/S1021443720010173>
48. Castañeda-Alvarez N.P., Khoury C.K., Achicanoy H.A., Bernau V., Dempewolf H., Eastwood R.J., Guarino L., Harker R.H., Jarvis A., Maxted N., Müller J.V., Ramirez-Villegas J., Sosa C.C., Struik P.C., Vincent H., Toll J. 2016. Global conservation priorities for crop wild relatives. — Nature plants. 2: Article ID 16022. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.22>
49. Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Иваченко Л.Е., Лаврентьева С.И. 2022. Подбор микросателлитных локусов ДНК для создания молекулярно-генетических паспортов диких форм и сортов сои амурской селекции. — Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2(222): 37–48. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_3
50. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник. 2016. Благовещенск. 570 с.
51. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. 2016. Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции: учеб. пособие для вузов. СПб. 480 с.
52. Коробко В.В., Касаткин М.Ю. 2017. Физиология растений: большой практикум. Саратов. 120 с.
53. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. — J. Biol. Chem. 193(1): 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
54. Плешков Б.П. 1985. Практикум по биохимии растений. М. 175 с.
55. Ермаков А.И. 1987. Методы биохимического исследования растений. Л. 430 с.
56. Иваченко Л.Е., Кашина В.А., Маскальцова Е.С., Разаницей В.И., Стасюк Е.М., Трофимцова И.А. 2008. Методы изучения полиморфизма ферментов сои: учебное пособие. Благовещенск. 142 с.
57. Стручкова И.В., Калысова Е.А. 2012. Теоретические и практические основы проведения электрофореза белков в полиакриламидном геле: Электронное учебно-методическое пособие. Нижний Новгород. 60 с. http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/Struchkova_Kalyasova.pdf
58. Левитес Е.В. 1986. Генетика изоферментов растений. Новосибирск. 145 с.
59. Wendel J.F., Weeden N.F. 1989. Visualization and Interpretation of Plant Isozymes. — In Isozymes in Plant Biology. Springer. P. 5–45. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1840-5_2
60. Сибгатуллина Г.В., Хаертдинова Л.Р., Гумерова Е.А., Акулов А.Н., Костюкова Ю.А., Никонорова Н.А., Румянцев Н.И. 2011. Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений: учебно-методическое пособие. Казань. 61 с.
61. Лаврентьева С.И., Якименко М.В. 2013. Влияние агроэкологических условий выращивания на рибонуклеазную активность сои. Благовещенск. 128 с.
62. Кочетов Г.А. 1980. Практическое руководство по энзимологии. Учебное пособие для студентов биологических специальностей вузов. М. 272 с.
63. Xu W., Zhang N., Zhang Z., Jing P. 2019. Effects of dietary cyanidin-3-diglucoside-5-glucoside complexes with rutin/Mg(II) against H₂O₂-induced cellular oxidative stress. — Food research international. 126: Article ID. 108591. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108591>
64. Розова М.А., Зиборов А.И. 2016. Корреляционные связи урожайности яровой твердой пшеницы с элементами ее структуры в зависимости от уровня продуктивности генотипов и погодных условий в Приобской лесостепи Алтайского края. — Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2(136): 44–49. <https://www.asau.ru/files/vestnik/2016/2/044-049.pdf>
65. Akond M., Liu S., Boney M., Kantartzi S.K., Meksem K., Bellaloui N., Lightfoot D.A., Kassem M.A. 2014. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) Underlying Protein, Oil, and Five Major Fatty Acids' Contents in Soybean. — Am. J. Pant Sci. 5(1): 158–167. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.51021>

66. Ohlrogge J.B., Browse J. 1995. Lipid biosynthesis. — *The Plant Cell*. 7(7): 957–970.
<https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.957>
67. Takagi Y., Hossain A.M., Yanagita T., Kusaba S. 1989. High linolenic acid mutant in soybean induced by X-ray irradiation. — *Jpn. J. Breed.* 39(4): 403–409.
<https://doi.org/10.1270/jsbbs1951.39.403>
68. Сангаев С.С. 2010. Изучение роли экстраклеточных рибонуклеаз на модели трансгенных растений табака (*Nicotiana tabacum* L.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 16 с.
<https://www.dissercat.com/content/izuchenie-rol-ekstrakletochnykh-ribonukleaz-na-modeli-transgennykh-rastenii-tabaka>

Chemical Composition of *Glycine soja* (Fabaceae) Seeds from the Amur Region Territory

S. I. Lavrent'yeva^{a, b, *}, L. E. Ivachenko^{a, b}, A. A. Blinova^a, O. N. Bondarenko^a, V. A. Kuznetsova^c

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia

^bBlagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

^cVavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Vladivostok, Russia

*e-mail: lana.lavrenteva.1984@mail.ru

Abstract—Wild soybean *Glycine soja* Sieb. & Zucc., the wild ancestor of the cultivated soybean *Glycine max* (L.) Merr., is the source of many valuable genes missing in the genotype of cultivated soybean, including stress resistance to adverse environmental factors. The biochemical parameters (protein, oil, ascorbic acid, carotene, higher fatty acids, specific activity and multiple forms of enzymes of the oxidoreductase and hydrolase classes) of five forms of wild soybeans from the collection of the All-Russian Research Institute of Soybean, which are unique natural gene banks, were studied. The wild seeds were collected for in three districts of the Amur Region (Arkharinsky, Blagoveshchensk, Belogorsky) and grown on the crop rotation field. The obtained results of enzymatic activity (superoxide dismutase, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, ribonuclease, acid phosphatase, esterase and amylase) and biochemical parameters of the studied seeds of wild soybean forms allowed us to identify the form KA-1413 with high biochemical parameters (protein, oleic and linolenic acids), a low specific polyphenol oxidase activity, and an increased activity of superoxide dismutases, esterases and ribonucleases. Thus, the wild soybean form KA-1413 can be recommended as a source of dominant genes, which will help to increase the adaptive potential of new soybean varieties. The increased heterogeneity of multiple forms of SOD, AML, RNase and esterase in wild soybean seeds can be used as adaptation markers to environmental conditions.

Keywords: *Glycine soja*, ascorbic acid, carotene, higher fatty acids, oxidoreductases, hydrolases, specific activity, multiple forms

REFERENCES

1. Kofsky J., Zhang H., Song B.H. 2018. The Untapped Genetic Reservoir: The Past, Current, and Future Applications of the Wild Soybean (*Glycine soja*). — *Front. Plant Sci.* 9: 949.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00949>
2. Zhuang Y., Li X., Hu J., Xu R., Zhang D. 2022. Expanding the gene pool for soybean improvement with its wild relatives. — *aBIOTECH.* 3(2): 115–125.
<https://doi.org/10.1007/s42994-022-00072-7>
3. Tushkova T.P., Dushko O.S. 2016. Study of economically valuable traits in wild forms of soy in Priamurye. — *Far East Agrarian Bulletin*. 4(40): 80–85. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30682421> (In Russian)
4. Ala A.Ya. 2000. [The study of the collection of wild soybeans by economically valuable and morphological characteristics]. — In: [Issues of biology and technology of the soybean's cultivation in the Russian Far East]. Blagoveshchensk. P. 26–31. (In Russian)
5. Nawaz M.A., Yang S.H., Rehman H.M., Baloch F.S., Lee J.D., Park J.H., Chung G. 2017. Genetic diversity and population structure of Korean wild soybean (*Glycine soja* Sieb. and Zucc.) inferred from microsatellite markers. — *Biochem. Sys. Ecol.* 71: 87–96.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.02.002>
6. Nedoluzhko A.V. 2008. [The study of the genetic structure of wild soybean populations as an element of studying the biosafety of genetically modified plants in the centers of origin and diversity of the species: Abstr. Dis. ... Cand. (Biology) Sci.]. Moscow. 26 p. (In Russian)

7. Kozak M.F. 2004. [Questions of evolutionary morphology and cytogenetics of soybean]. Astrakhan. 166 p. <https://science.asu.edu.ru/index.php/files/download/3646> (In Russian)
8. Tikhonov A.V., Martynov V.V., Dorokhov D.B. 2011. Study of interactions between wild soybean subpopulations (*Glycine soja*) in the valley of the Tsukanovka river in the south of Russia's Far East. — Cytology and Genetics. 45(4): 214–219. <https://doi.org/10.3103/S0095452711040116> (In Russian)
9. Nawaz M.A., Yang S.H., Chung G. 2018. Wild Soybeans: An Opportunistic Resource for Soybean Improvement. — In: Rediscovery of Landraces as a Resource for the Future. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74973>
10. Xavier A., Jarquin A.D., Howard R., Ramasubramanian V., Specht J.E., Graef G.L., Beavis W.D., Diers B.W., Song Q., Cregan P.B., Nelson R., Mian R., Shannon J.G., McHale L., Wang D., Schapaugh W., Lorenz A.J., Xu S., Muir W.M., Rainey M. 2018. Genome-Wide analysis of grain yield stability and environmental interactions in a multiparental soybean population. — G3: Genes Genomes Genetics. 8(2): 519–529. <https://doi.org/10.1534/g3.117.300300>
11. Zhou Z., Jiang Y., Wang Z., Gou Z., Lyu J., Li W., Yu Y., Shu L., Zhao Y., Ma Y., Fang C., Shen Y., Liu T., Li C., Li Q., Wu M., Wang M., Wu Y., Dong Y., Wan W., Wang X., Ding Z., Gao Y., Xiang H., Zhu B., Lee S.H., Wang W., Tian X. 2015. Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean. — Nature Biotechnology. 33(4): 408–415. <https://doi.org/10.1038/nbt.3096>
12. Hyten D.L., Song Q., Zhu Y., Choi I.Y., Nelson R.L., Costa J.M., Specht J.E., Shoemaker R.C., Cregan P.B. 2006. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. — PNAS. 103(45): 16666–16671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604379103>
13. Ala A.Ya. 2001. The use of the gene pool of wild and cultivated soybeans in genetic breeding research. — In: [Genetic resources of cultural plants: Proceedings of International conference]. Saint Petersburg. P. 195–196. (In Russian)
14. Ala V.S. 2006. Transfer of hereditary information from parents to offspring in interspecific soybean hybrids *G. max* × *G. soja*. — In: [Scientific support of soybean production in the Far East and Siberia]. Blagoveshchensk. P. 35–41. (In Russian)
15. Kozak M.F. 2018. The results studies of hybrids of cultured and wild soybean. — Yestestvennye Nauki. 1(62): 7–27. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36293445> (In Russian)
16. Minkach T.V., Selikhova O.A. 2019. Selection and genetic analysis of interspecific first-generation soybean hybrids. — Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 8(178): 48–54. <http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/830/817> (In Russian)
17. Kalietskaya N.G., Sinegovskaya V.T., Kobozeva T.P. 2021. Assessment of intra- and inter-species of the first-generation soybean hybrids. — Vestnik of the Russian Agricultural Science. 6: 4–7. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/4-7> (In Russian)
18. Chen Q., Wang X., Yuan X., Shi J., Zhang C., Yan N., Jing C. 2021. Comparison of phenolic and flavonoid compound profiles and antioxidant and α-glucosidase inhibition properties of cultivated soybean (*Glycine max*) and wild soybean (*Glycine soja*). — Plants. 10(4): 813. <https://doi.org/10.3390/plants10040813>
19. Li Y.H., Li W., Zhang C., Yang L., Chang R.Z., Gaut B.S., Qiu L.J. 2010. Genetic diversity in domesticated soybean (*Glycine max*) and its wild progenitor (*Glycine soja*) for simple sequence repeat and single-nucleotide polymorphism loci. — New Phytol. 188(1): 242–253. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03344.x>
20. Ala A.Ya., Ala V.S., Tuckkova T.P., Wang Lang 2009. Characteristics of the gene pool of wild and cultivated soybeans of the genus *Glycine willd.* — In: [State and prospects of the scientific support of the agribusiness industry in the Far East]. P. 65–71. (In Russian)
21. Ivachenko L.E., Konichev A.S. 2016. [The role of soybean biologically active substances in adaptation to growing conditions]. Moscow. 154 p. (In Russian)
22. Kambhampati S., Aznar-Moreno J.A., Hostetler C., Caso T., Bailey S.R., Hubbard A.H., Durrett T.P., Allen D.K. 2020. On the Inverse Correlation of Protein and Oil: Examining the Effects of Altered Central Carbon Metabolism on Seed Composition Using Soybean Fast Neutron Mutants. — Metabolites. 10(1): 18. <https://doi.org/10.3390/metabo10010018>
23. Asekova S., Chae J.H., Ha B.K., Dhakal K.H., Chung G., Shannon J.G., Lee J.D. 2014. Stability of elevated α-linolenic acid derived from wild soybean (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) across environments. — Euphytica. 195(3): 409–418. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-1004-1>
24. Ivachenko L.E., Selikhova O.A., Ala A.J., Ala V.S. 2011. Influence of weather conditions cultivation on morphological parameters and biochemical structure of wild soya. — Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 4(158): 67–72. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20598576> (In Russian)
25. Lavrent'yeva S.I., Ivachenko L.Y., Golokhvast K.S., Nawaz M.A. 2019. Ribonuclease activity of *Glycine max* and *Glycine soja* sprouts as a marker adaptation to copper sulphate and zinc sulphate toxicity. — Biochemical Systematics and Ecology. 83: 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2019.01.007>

26. Chang Y., Zhang J., Bao G., Yan B., Qu Y., Zhang M., Tang W. 2020. Physiological Responses of Highland Barley Seedlings to NaCl, Drought, and Freeze-Thaw Stress. — *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(1): 154–161. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10085-5>
27. Chaudhary J., Deshmukh R., Mir Z.A., Bhat J.A. 2019. Metabolomics: An Emerging Technology for Soybean Improvement. — In: *Biotechnology Products in Everyday Life*. EcoProduction. Springer. P. 175–186. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92399-4_12
28. Sharova E.I., Medvedev S.S., Demidchik V.V. 2020. Ascorbate in the Apoplast: Metabolism and Functions. — *Russ. J. Plant Physiol.* 67(2): 207–220. <https://doi.org/10.1134/S1021443720020156>
29. Makhanova R.S. 2011. [On the problem of peroxide lipid oxidation]. — *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 1(29): 231–234. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15613202> (In Russian)
30. Tyutyayev E.V. 2015. The state of photosynthetic pigments in the leaves of inbred lines and hybrids of corn. — *Plant physiology and genetics*. 47(2): 147–159. (In Russian)
31. Hayrulina T.P., Semenova E.A. 2013. The temperature and water stressors impact on the low-molecular antioxidant content in soya seeds. — *The Bulletin of KrasSAU*. 2(77): 22–26. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18964545> (In Russian)
32. Kolesnikova M.V. 2018. The activity of enzymes polyphenol oxidase and peroxidase under the effect of the joint plowing of straw of winter wheat and strain of *Humicola fuscoatra* VNIIS 016. — *Science Almanac*. 4–3(42): 200–204. <http://ucom.ru/doc/na.2018.04.03.200.pdf> (In Russian)
33. Xin J., Zhao X.H., Tan Q.L., Sun X.C., Zhao Y.Y., Hu C.X. 2019. Effects of cadmium exposure on the growth, photosynthesis, and antioxidant defense system in two radish (*Raphanus sativus* L.) cultivars. — *Photosynthetica*. 57(4): 967–973. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.076>
34. Nikerova K.M., Galibina N.A., Moshchenskaya Yu.L., Novitskaya L.L., Podgornaya M.N., Sofronova I.N. 2018. The antioxidant enzymes — indicators of different xylogenesis scenarios: in early ontogeny and in adult plants (example of *Betula pendula* Roth). — *Transactions of KarRC RAS*. 6: 68–80. <https://doi.org/10.17076/eb787> (In Russian)
35. Kawano T. 2003. Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction. — *Plant cell reports*. 21(9): 829–837. <https://doi.org/10.1007/s00299-003-0591-z>
36. Lutskiy E.O., Sundryeva M.A., Khablyuk V.V. 2019. Influence of water and temperature stress the activity of antioxidant enzyme of grapes. — *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 56(02): 110–121. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-2-56-110-121> (In Russian)
37. Jumrani K., Bhatia V.S. 2019. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. — *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 25(3): 667–681. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00657-5>
38. Li Z., Kitov P.I., Kitova E.N., Mozenah F., Rodrigues E., Chapla D.G., Moremen K.W., Macauley M.S., Klassen J.S. 2020. CUPRA-ZYME: An Assay for Measuring Carbohydrate-Active Enzyme Activities, Pathways, and Substrate Specificities. — *Anal. Chem.* 92(4): 3228–3236. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05007>
39. Zhou Q., Xiao Q., Zhang Y., Wang X., Xiao Y., Shi D. 2019. Pig liver esterases PLE1 and PLE6: heterologous expression, hydrolysis of common antibiotics and pharmacological consequences. — *Scientific reports*. 9: Article ID 15564. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51580-4>
40. Konarev V.G. 1983. [Plant proteins as genetic markers]. Moscow. 320 p. (In Russian)
41. Glazko V.I. 2000. [Genetically determined enzyme polymorphism in soy varieties (*Glycine max*) and in wild soy (*Glycine soja*)]. — *Cytology and Genetics*. 34(2): 77–83.
42. Konichev A.S., Popov A.P., Tsvetkov I.L., Filkov P.V. 2005. Enzymes as biochemical markers of water pollution. — *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*. Moscow. P. 151–153. (In Russian)
43. Mukhina Z.M., Dubina E.V. 2011. Molecular markers and how to use them in breeding and genetic researchers. — *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 66(02): 97–107. <http://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/09.pdf> (In Russian)
44. Sharma A., Tripathi M.K., Tiwari S., Gupta N., Tripathi N., Mishra N. 2021. Evaluation of Soybean (*Glycine max* L.) Genotypes on the Basis of Biochemical Contents and Anti-oxidant Enzyme Activities. — *Legume Res.* 44(12): 1419–1429. <https://doi.org/10.18805/LR-4678>
45. Mohan M., Nair S., Bhagwat A., Krishna T.G., Yano M., Bhatia C., Sasaki T. 1997. Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. — *Molecular Breeding*. 3(2): 87–103. <https://doi.org/10.1023/A:1009651919792>
46. Ivachenko L.E. 2011. [Enzymes as markers of soybean adaptation to growing conditions]. Blagoveshchensk. 192 p. (In Russian)
47. Samadi N., Saeidi-sar S., Abbaspour H., Masoudian N. 2020. Measuring Genes Expression Involved in Enzymatic Defense and ABA Biosynthesis in *Solanum lycopersicum* L. (Red Cloud Cultivar) under Cold Stress. — *Russian Journal of*

- Plant Physiology. 67(1): 131–138.
<https://doi.org/10.1134/S1021443720010173>
48. Castañeda-Álvarez N.P., Khoury C.K., Achicanoy H.A., Bernau V., Dempewolf H., Eastwood R.J., Guarino L., Harker R.H., Jarvis A., Maxted N., Müller J.V., Ramirez-Villegas J., Sosa C.C., Struik P.C., Vincent H., Toll J. 2016. Global conservation priorities for crop wild relatives. — *Nature plants*. 2: Article ID 16022.
<https://doi.org/10.1038/nplants.2016.22>
49. Bondarenko O.N., Blinova A.A., Ivachenko L.E., Lavrent'yeva S.I. 2022. Selection of microsatellite DNA loci for creating molecular genetic passports of wild forms and varieties of Amur soybean breeding. — *Vestnik of Far Eastern branch of Russian academy of sciences*. 2(222): 37–48.
https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_3 (In Russian)
50. [System of agriculture of the Amur region: production and practical guide]. 2016. Blagoveshchensk. 570 p. (In Russian)
51. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. 2016. [Practical course on the biochemistry of agricultural products: study guide for universities]. Saint Petersburg. 480 p. (In Russian)
52. Korobko V.V., Kasatkin M.Yu. 2017. [Plant Physiology: extended practical course]. Saratov. 120 p. (In Russian)
53. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. — *J. Biol. Chem.* 193(1): 265–275.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
54. Pleshkov B.P. 1985. [Practical course on plant biochemistry]. Moscow. 175 p. (In Russian)
55. Ermakov A.I. 1987. [Methods of biochemical plants studies]. Leningrad. 430 p. (In Russian)
56. Ivachenko L.E., Kashina V.A., Maskal'tsova E.S., Razantsvey V.I., Stasyuk E.M., Trofimtsova I.A. 2008. [Methods for studying the polymorphism of soybean enzymes: a study guide]. Blagoveshchensk. 142 p. (In Russian)
57. Struchkova I.V., Kal'yasova E.A. 2012. [Theoretical and practical foundations of protein electrophoresis in polyacrylamide gel: Electronic study guide]. Nizhny Novgorod. 60 p.
http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/Struchkova_Kalyasova.pdf (In Russian)
58. Levites E.V. 1986. [Genetics of plant isoenzymes]. Novosibirsk. 145 p. (In Russian)
59. Wendel J.F., Weeden N.F. 1989. Visualization and Interpretation of Plant Isozymes. — In *Isozymes in Plant Biology*. Springer. P. 5–45.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-1840-5_2
60. Sibgatullina G.V., Khaertdinova L.R., Gumerova E.A., Akulov A.N., Kostyukova Yu.A., Nikonorova N.A., Rumyantseva N.I. 2011. [Methods for determining the redox status of cultivated plant cells: study guide]. Kazan. 61 p. (In Russian)
61. Lavrent'yeva S.I., Yakimenko M.V. 2013. [Influence of agroecological growing conditions on soybean ribonuclease activity]. Blagoveshchensk. 128 p. (In Russian)
62. Kochetov G.A. 1980. [A Practical Guide to Enzymology. Textbook for university biological students]. Moscow. 272 p. (In Russian)
63. Xu W., Zhang N., Zhang Z., Jing P. 2019. Effects of dietary cyanidin-3-diglucoside-5-glucoside complexes with rutin/Mg(II) against H₂O₂-induced cellular oxidative stress. — *Food Res. Int.* 126: Article ID. 108591.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108591>
64. Rozova M.A., Ziborov A.I. 2016. The correlations of spring durum wheat yield with its structural components depending on the genotype productivity level and weather conditions in Ob river forest-steppe of the Altai region. — *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2(136): 44–49. <https://www.asau.ru/files/vestnik/2016/2/044-049.pdf> (In Russian)
65. Akond M., Liu S., Boney M., Kantartzi S.K., Meksem K., Bellaloui N., Lightfoot D.A., Kassem M.A. 2014. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) Underlying Protein, Oil, and Five Major Fatty Acids' Contents in Soybean. — *Am. J. Pant Sci.* 5(1): 158–167.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2014.51021>
66. Ohlrogge J.B., Browse J. 1995. Lipid biosynthesis. — *The Plant Cell*. 7(7): 957–970.
<https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.957>
67. Takagi Y., Hossain A.M., Yanagita T., Kusaba S. 1989. High linolenic acid mutant in soybean induced by X-ray irradiation. — *Jpn. J. Breed.* 39(4): 403–409.
<https://doi.org/10.1270/jsbbs1951.39.403>
68. Sangaev S.S. 2010. [Study of the role of extracellular ribonucleases in transgenic model tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.): Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. Novosibirsk. 16 p.
<https://www.dissercat.com/content/izuchenie-rol-ekstrakletochnykh-ribonukleaz-na-modeli-transgennykh-rasteniitabaka> (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ И ЛИШАЙНИКОВ ОЛЕНЬИХ ПАСТБИЩ НАДЫМСКОГО РАЙОНА (ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

© 2023 г. Е. А. Болдырева*

Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия

*e-mail: leta-92@list.ru

Поступила в редакцию 18.09.2022 г.

После доработки 12.12.2022 г.

Принята к публикации 09.02.2023 г.

В связи с планируемым расширением оленеводства на территории Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа (Западная Сибирь) был изучен элементный состав доминантов растительного покрова тундр и редколесий: листьев карликовой березы *Betula nana* L.; побегов кустарничков: голубики обыкновенной *Vaccinium uliginosum* L., багульника болотного *Ledum palustre* L., мирта болотного *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; талломов кустистого лишайника кладонии звездчатой *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo., побегов сфагновых мхов *Sphagnum* sp. L. С помощью метода рентгенофлуоресцентного анализа проведена оценка содержания Ca, K, P, Si, Mg, Na, S, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Ti и Al в этих растениях. Выявлены биогеохимические особенности исследованных видов, используемых в качестве кормовой базы оленей. Содержание эссенциальных макроэлементов низкое, в особенности в талломах лишайника, где концентрация Ca, K, P более чем на один порядок меньше среднемировых значений. Содержание большинства микроэлементов (Cu, Ni, Co, Cr, Mn) в высших сосудистых растениях и сфагновых мхах, напротив, превышает среднемировые величины. Для *Cladina stellaris* характерен дефицит микроэлементов. Сравнение наших результатов с данными из других районов тундровой зоны показало сходный характер накопления элементов. Так, листья карликовой березы отличаются накоплением Mg и Mn, содержание Al, Fe, Si повышено в сфагновых мхах, Mn накапливается в побегах кустарничков, для кладонии звездчатой характерен дефицит большинства элементов. Для профилактики заболеваний оленей в зимний период, когда основу рациона составляют лишайники, необходимо увеличение доли “зеленых” кормов.

Ключевые слова: Западная Сибирь, тундровая зона, олени пастбища, кормовые растения, макроэлементы, микроэлементы, коэффициент биологического накопления

DOI: 10.31857/S0033994623010041, **EDN:** XXOKCI

Оленеводство, являющееся основной отраслью животноводства Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), полностью базируется на естественной кормовой базе. Растительный покров ЯНАО подвергается высокой пастбищной нагрузке [1]. Признаки перевыпаса были отмечены еще в начале XX в. [2]. С тех пор пастбищные нагрузки многократно возросли, а растительность глубоко трансформирована и неуклонно утрачивает ресурсный потенциал [3–9]. Особую опасность для пастбищ представляет разработка многочисленных месторождений нефти и газа. Вблизи мест разведки, добычи и транспортировки полезных ископаемых происходит техногенное разрушение покрова, снижается качество кормовых угодий, сокращается объем кормовых запасов и ухудшается их доступность [10]. Поэтому возможности для развития северного оленеводства ограничиваются количеством и каче-

ством пастбищ. Согласно данным Департамента агропромышленного комплекса ЯНАО [11], за последние 5 лет численность поголовья оленей снизилась на 160 тыс. голов, поскольку оленеемкость пастбищ в 2 раза ниже количества животных.

Обеспеченность пищей северных оленей зависит не только от ее доступности в окружающей среде, но и от ее качества [12]. Для животных важен макро- и микроэлементный состав кормовых видов. Нехватка каких-либо элементов приводит к тому, что происходит снижение массы тел животных, возникают различные заболевания и рождается нежизнеспособное потомство [13].

В последние годы правительство ЯНАО уделяет большое внимание развитию в Надымском р-не изгородного оленеводства, то есть переселения части оленеводов со стадами в таежную зону [14]. От состава растительности и экологической чистоты оленьих пастбищ зависит качество и питатель-

ный состав мяса северных оленей [15]. Всестороннее удовлетворение потребностей животных в различных элементах питания обеспечивает наиболее полное проявление генетически обусловленных показателей продуктивности [16]. Микроэлементный состав кормов является одним из важных показателей, определяющих их питательную ценность. Общеизвестно выделение заболеваний, характеризующихся недостаточностью (гипомикроэлементозы) и избытком (гипермикроэлементозы) микроэлементов [17]. В системе биогеохимического районирования В.В. Ковальского [13] территория севера Западной Сибири отнесена к таежно-лесной биогеохимической зоне, для которой характерен недостаток многих макро- и микроэлементов: кальция, фосфора, калия, кобальта, меди, йода, молибдена, бора, цинка. Недавние геохимические исследования в Надымской р-не [18–20] подтвердили низкое содержание микроэлементов в почвах. Так, валовое содержание Ni ниже кларка в 5 раз, Mn – в 3 раза, Sr – в 2 раза, Cr – в 1.4 раз [20]. Неблагоприятная биогеохимическая ситуация может отрицательно влиять на оленеводство. Поэтому планы по его развитию в Надымском р-не требуют учета биогеохимических факторов, в частности оценки элементного состава кормовых растений.

Цель данной работы – изучить элементный состав некоторых видов растений, которые составляют кормовую базу оленьих пастбищ на территории Надымского р-на ЯНАО.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб растений производили на территории Надымского р-на Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1) в летний период (июль–август) 2020 г. в ходе геоботанических исследований на фоновых участках. Пищевой рацион оленя очень разнообразен: в него входит подавляющее большинство растений, произрастающих в тундре и тайге. Летом северный олень питается зеленой растительностью, зимой основной корм оленей – лишайники [21]. Для оценки элементного состава кормовой базы были отобраны доминанты растительного покрова: карликовая береза *Betula nana* L.; кустарнички: багульник болотный *Ledum palustre* L., голубика обыкновенная *Vaccinium uliginosum* L., мирт болотный *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; сфагновые мхи *Sphagnum* sp. L. и кустистый лишайник кладония звездчатая *Cladonia stellaris* (Opiz.) Brodo. На каждой эталонной площадке отбирали не менее 5 экземпляров каждого вида из расчета более 0.2 кг фитомассы, из которых составляли одну сборную пробу.

В лабораторных условиях пробы высушивали и измельчали в ступке до порошкообразного состояния. Анализ валового содержания элементов выполняли в Институте физико-химических и

биологических проблем почвоведения РАН. Содержание Ca, K, P, Si, Mg, Na, S, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Ti, Al в кормовых растениях определяли путем измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах на рентгенофлуоресцентном спектрометре. Анализ полученных образцов производили в двух параллельных пробах; за результат измерения принято среднее арифметическое значение.

При статистической обработке результатов рассчитывали среднеарифметическое значение содержания элементов (M) и среднеквадратичное отклонение (SD). Для оценки накопления элементов в растительных образцах использовали коэффициент биологического накопления K_b , который представляет собой отношение содержания элемента в золе растений к величине кларка верхней части континентальной земной коры. При сравнении со среднемировыми показателями содержания элементов в растениях использовали расчеты В.В. Добровольского [22, 23]. Потенциальную физиологическую реакцию на недостаток или избыток элемента в фитомассе определяли путем сопоставления с пороговыми границами, приведенными в работе А. Кабата-Пендиас [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Элементный состав исследованных растений представлен в табл. 1. Основными элементами являются (в порядке убывания) Ca, K, Si и P. Содержание практически всех макроэлементов, за исключением Al, ниже среднемировых значений. Обращает на себя внимание низкое содержание таких физиологически значимых, как для растений, так и животных, элементов как Ca, K, P, Mg и Si. Минимальное содержание этих элементов выявлено в лишайнике, а максимальное (кроме Si) – в листьях карликовой березы.

Содержание зольных элементов в растениях тундр определяется, прежде всего, составом региональных почв и почвообразующих пород. Так, интенсивное концентрирование растениями Таймыра кальция и магния является следствием повышенного содержания этих элементов в почвообразующих породах, а высокое содержание фосфора в растениях Кольского полуострова обусловлено широким распространением апатитов [25].

Почвы севера Западной Сибири характеризуются относительно низкими природными концентрациями микроэлементов [19, 26]. Такая же закономерность наблюдается и для макроэлементов. Среднее содержание Ca в почвах Надым-Пуровского междуречья составляет в среднем 0.31% [20], что примерно на порядок меньше кларка верхней части земной коры. Содержание K_2O в разных генетических горизонтах почв варьирует



Рис. 1. Район исследования. ● — пункты наблюдений и отбора проб.
Fig. 1. Research area. ● — observation and sampling points.

от 0.42 до 2.09%, что также меньше кларка, минеральные горизонты постлитогенных почв отличаются недостатком Р и S [20]. Низкое содержание Са, Р, S, К в изученных растениях связано с литогенным фактором. Наиболее низкое содержание биологически важных макроэлементов отмечено в лишайнике *Cladina stellaris*, который составляет основу кормового рациона оленей в зимний период. Этот факт следует учитывать в планах развития таежного оленеводства в Надымской р-не. Имеются указания на минеральное голодание оленей вследствие нехватки Са, К, Р, S [27]. Следует отметить высокое содержание Fe в листьях карликовой березы (ерника) и низкое — в побегах кустарничков. Поглощение железа зависит, прежде всего, от биологических особенностей растений, а не со-

става почв и пород. Также обращает на себя внимание интенсивное поглощение растениями алюминия. Коэффициенты биологического накопления этого элемента у всех исследованных видов составляют 0.31–0.65, что превышает среднемировые значения в 3.1–6.5 раз (рис. 2). Причиной этого является высокая подвижность Al в ландшафтах кислого глеевого класса. Интенсивное накопление Al типично для тундровых растений. Ранее отмечалось, что Кб этого элемента у некоторых растений (полярная ива, морошка) и лишайников местами больше 1 при средних для растительности суши значениях 0.1 и менее [27].

Накопление в исследованных растениях микроэлементов имеет несколько иной характер, чем накопление макроэлементов, поскольку его спе-

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в растениях Надымского района, мг/кг абс. сух. веса
Table 1. Average element contents in plants of Nadym region, mg/kg dry weight

Элементы Elements	Виды растений Plant species					Среднемировое содержание ¹ В. Markert [23] ² В.В. Добровольский [22] World average content ¹ В. Markert [23] ² V.V. Dobrovolsky [22]	Экологические градации по Кабата-Пендиас [24] Environmental levels according to Kabata-Pendias [24]		
	Кустарник Dwarf birch <i>Betula nana</i> L. <i>n</i> = 7	Кустарнички Dwarf shrubs			<i>Cladonia</i> <i>stellaris</i> (Opiz.) Brodo <i>n</i> = 5	<i>Sphagnum</i> sp. L. <i>n</i> = 6	дефицит deficit	норма standard	избыток excess
		<i>Ledum</i> <i>palustre</i> L. <i>n</i> = 5	<i>Vaccinium</i> <i>uliginosum</i> L. <i>n</i> = 5	<i>Chamaedaphne</i> <i>calyculata</i> (L.) Moench <i>n</i> = 2					
Ca	4271 ± 350 ¹	3560 ± 868	3320 ± 602	2900 ± 141	742 ± 68	1283 ± 376	—	—	—
K	3086 ± 615	2800 ± 583	2640 ± 439	2000 ± 424	858 ± 165	1767 ± 596	—	—	—
P	1371 ± 496	880 ± 377	1180 ± 370	650 ± 71	380 ± 73	483 ± 172	—	—	—
Si	1786 ± 587	1600 ± 725	1440 ± 321	900 ± 141	3008 ± 149	3067 ± 3065	—	—	—
Mg	1500 ± 271	900 ± 212	1260 ± 167	1000 ± 566	—	650 ± 243	—	—	—
Na	443 ± 326	420 ± 217	440 ± 532	350 ± 495	—	183 ± 271	—	—	—
S	829 ± 111	740 ± 167	1300 ± 300	600 ± 0	213 ± 29	567 ± 82	—	—	—
Al	1145 ± 142	1094 ± 156	1171 ± 539	1027 ± 117	576 ± 267	1259 ± 378	—	—	—
Fe	1649 ± 80	137 ± 119	59 ± 8	53 ± 12	315 ± 213	308 ± 243	—	—	—
Zn	161 ± 59	59 ± 72	46 ± 10	19 ± 2	17 ± 2	16 ± 5	10–20	27–150	100–400
Cu	24 ± 2	23 ± 5	27 ± 6	18 ± 2	—	16 ± 5	2–5	5–30	20–100
Ni	16 ± 2	14 ± 2	14 ± 2	10 ± 2	1.2 ± 0.7	13 ± 6	—	0.1–5	10–100
Co	9 ± 0.60	10 ± 3	12 ± 7	9 ± 3	—	9 ± 4	—	0.02–1	15–50
Mn	791 ± 485	770 ± 208	397 ± 194	847 ± 1055	58 ± 23	266 ± 169	15–25	20–300	300–500
Cr	26 ± 6	24 ± 6	20 ± 3	20 ± 3	1.0 ± 1.1	26 ± 17	—	0.1–0.5	5–30
Ti	7 ± 0.39	10 ± 6	7 ± 1	16 ± 14	8.0 ± 7.3	13 ± 17	—	—	50–200

Примечание. ¹ Среднеарифметическое значение и стандартное отклонение $M \pm SD$; прочерк — нет данных.
Note. ¹ Arithmetic mean and standard deviation $M \pm SD$; dash — no data.

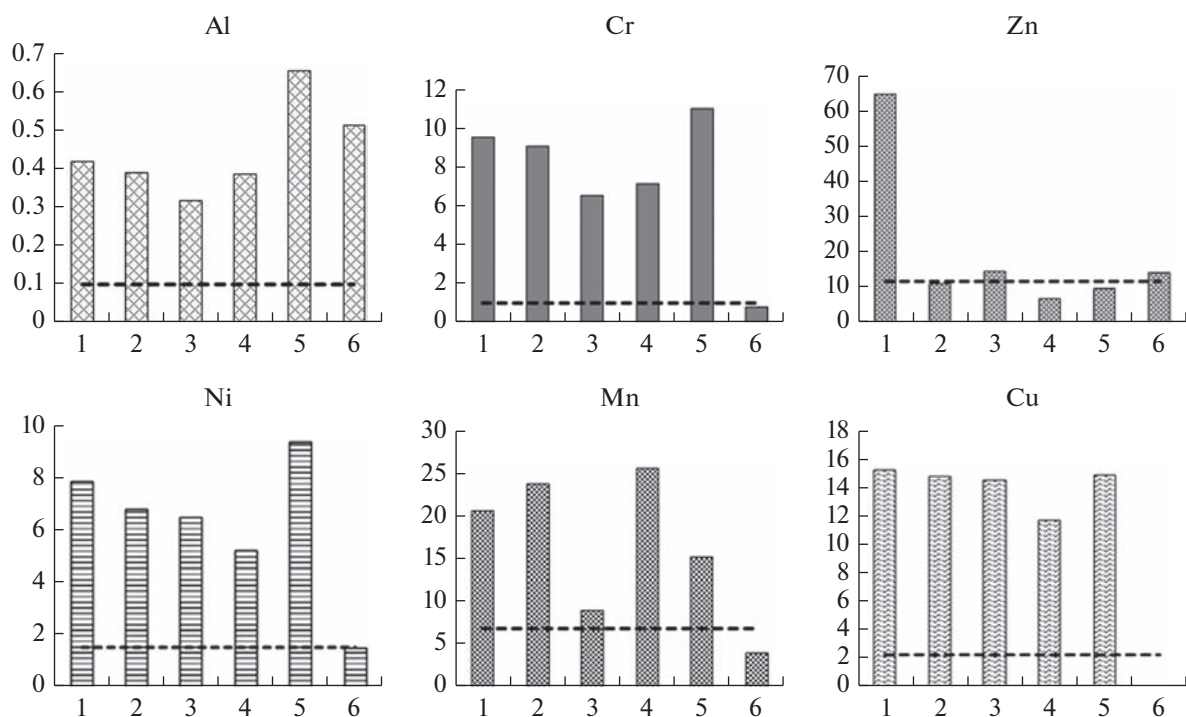


Рис. 2. Значения Кб в различных группах фитобиоты Надымского района. По горизонтали — группы фитобионтов; по вертикали — значения Кб. 1 — *Betula nana* L.; 2 — *Ledum palustre* L.; 3 — *Vaccinium uliginosum* L.; 4 — *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; 5 — *Sphagnum* sp. L.; 6 — *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo. Пунктирная линия — среднемировое значение [22].

Fig. 2. Values of the coefficient of biological accumulation in various floral and lichen biotic groups of the Nadym region. X-axis — plant and lichen biont groups; y-axis — values of the biological accumulation coefficient. 1 — *Betula nana* L.; 2 — *Ledum palustre* L.; 3 — *Vaccinium uliginosum* L.; 4 — *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; 5 — *Sphagnum* sp. L.; 6 — *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo. The dash line is the world average [22].

цифика в значительной степени определяется не только влиянием литогенной основы и формами нахождения металлов в почвах, но также видовыми особенностями минерального обмена растений. Несмотря на низкое содержание в почвах севера Западной Сибири многих микроэлементов, в частности Cu, Ni, Co, Cr и Mn [19], в исследуемых видах их содержание превышает среднемировые величины (табл. 1). Только содержание Ti снижено у всех видов сосудистых растений. Таким образом, растения отличаются высокой биогеохимической активностью в отношении накопления микроэлементов.

Интенсивно накапливаются во всех высших сосудистых растениях и сфагновых мхах Ni, Cr, Cu и Mn. Кб для Ni выше среднемирового значения в 3.4–6.1 раз, Cu — в 5.2–6.8 раз, а Cr — в 6.4–10.7 раз (рис. 2).

По имеющимся данным [28], одни элементы в растениях тундровой зоны активно концентрируются (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Ni, Co, Sr), другие — деконцентрируются (Al, Zr, Be, Ti, V). Наши исследования подтвердили способность тундровых растений активно накапливать Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn и Cr. Вероятно, причиной этого явля-

ется высокая доля подвижных форм металлов, легко усваиваемых растениями. По имеющимся данным [29], из тундрового глеезема в ацетатно-аммонийный буферный раствор переходят 13–16% Ni, Cu и Co. В почвах юга Западной Сибири доля подвижных форм многократно меньше и составляет для Ni 0.6–2.3%, Cu — 0.1–0.9%, Co — 1–3% [30]. Отмечалось, что максимальной подвижностью в тундровых почвах обладают Cu, Zn и Mn [31]. Выявленное нами интенсивное накопление этих элементов сосудистыми растениями подтверждает их высокую подвижность в почвах тундры и предтундровых редколесий.

Наблюдается заметное межвидовое варьирование содержания как микро-, так и макроэлементов. Очень высокое содержание Zn отмечено в листьях *Betula nana*, что превышает физиологически оптимальный уровень, составляющий, согласно А. Кабата-Пендиас [24], 27–150 мг/кг абс. сух. вещества. Способность карликовой березы накапливать Zn отмечалась ранее многими авторами [32–34]. Кроме того, этот вид отличается повышенным содержанием Ni и Fe. В побегах *Chamaedaphne calyculata* и сфагновых мхах Zn на-

Таблица 2. Содержание зольных элементов в растениях различных географических районов тундровой зоны, % на сухое вещество**Table 2.** Ash element content in plants in different geographical areas of the tundra zone, % dry weight

Растения Plant species		Элементы Elements								Сумма элементов Sum of elements
		P	K	Na	Mg	Al	Fe	Mn	Si	
Карликовая береза <i>Betula nana</i> (листья) Dwarf birch (leaves)	I	0.20	0.27	0.02	0.10	0.02	0.02	0.20	0.04	0.87
	II	0.01	0.34	0.01	0.38	0.01	0.01	0.07	0.02	0.85
	III	0.04	0.40	0.01	0.55	0.04	0.01	0.06	0.10	1.21
	IV	0.18	0.66	0.01	0.11	0.02	0.01	0.03	0.07	1.09
	V	0.11	0.21	0.01	0.22	0.07	0.10	0.16	0.08	0.96
Кустарнички Dwarf shrubs	I	0.12	0.38	0.02	0.08	0.03	0.01	0.09	0.05	0.78
	II	0.01	0.36	0.01	0.25	0.01	0.01	0.25	0.03	0.93
	III	0.08	0.57	0.02	0.22	0.03	0.01	0.04	0.08	1.05
	IV	0.15	0.55	0.01	0.10	0.03	0.01	0.17	0.10	1.12
	V	0.09	0.24	0.04	0.21	0.12	0.02	0.04	0.32	1.08
Мхи Mosses	I	0.21	0.63	0.04	0.19	0.08	0.04	0.03	0.11	1.33
	II	0.11	0.52	сл.	0.13	0.14	0.06	0.06	0.13	1.15
	III	0.06	0.18	0.05	0.30	0.16	0.11	0.02	0.30	1.18
	IV	0.06	0.58	0.05	0.11	0.13	0.08	0.05	0.51	1.57
	V	0.03	0.09	0.06	0.04	0.05	0.03	0.05	0.25	0.60
Лишайники Lichens	I	0.07	0.04	0.04	0.02	0.11	0.03	0.01	0.05	0.37
	II	0.05	0.08	—	0.09	0.02	0.04	0.05	0.10	0.43
	III	0.05	0.35	0.06	0.06	0.06	0.02	0.01	0.07	0.68
	IV	0.04	0.08	0.03	0.03	0.05	0.03	0.01	0.18	0.45
	V	0.03	0.10	0.02	0.02	0.04	0.04	0.01	0.16	0.42

Примечание. I — Колская тундра [40]; II — Большеземельская тундра [41]; III — тундры стационара “Агапа”, Таймыр [25]; IV — арктическое побережье Чукотки [39]; V — растительный покров Верхнеколымского нагорья [42]; прочерк — нет данных.

Note. I — Kola tundra [40]; II — Bolshezemelskaya tundra [41]; III — tundra of Agapa observation station, Taimyr [25]; IV — Arctic coast of Chukotka [39]; V — vegetation of the Upper Kolyma Plateau [42]; dash — no data.

капливается умеренно, величины *Кб* незначительно меньше среднемировых значений (рис. 2).

Среднее содержание меди у разных видов растений варьирует в пределах 16–27 мг/кг абс. сух. вещества, оно выше среднемировых значений, но по экологической градации [24], укладывается в физиологически допустимые нормы. Максимальное содержание *Си* отмечено в листьях *Vaccinium uliginosum*. Та же закономерность была выявлена при изучении химического состава растений Большеземельской тундры, где максимум содержания *Си* наблюдается в побегах этого вида [29].

Концентрации *Ni* варьируют от 10 мг/кг в побегах *Chamaedaphne calyculata* до 16 мг/кг в карликовой березе. Повышенные содержания никеля объясняются подвижностью этого элемента в кислых и влажных почвах, преобладающих в тундре и тайге. Отмечалось, что рост pH почвы вызывает снижение содержания *Ni* в растениях [24]. Согласно данным A.I. Syso et al. [35], повышенные концентрации цинка и никеля могут быть типичными для тундровой зоны. Максимальное содержание *Сг* установлено в сфагновых мхах — 24.5 мг/кг, около 8 мг/кг — в побегах *Vaccinium uliginosum* и *Chamaedaphne calyculata*.

Интенсивное накопление Mn отмечено у *Chamaedaphne calyculata*, минимальное – в сфагновых мхах и лишайнике *Cladina stellaris* (рис. 2). Повышенное содержание марганца в растениях тундр Западной Сибири отмечается в работах многих авторов [36–38]. Значения коэффициента биологического накопления K_b для Mn, варьировали в пределах от 6.4 (*Cladina stellaris*) до 29.2 (*Chamaedaphne calyculata*), в то время как среднемировое значение этого показателя для растительности суши составляет 6.86 [22].

Сфагновые мхи отличаются повышенным содержанием Si, Al, Fe. Повышенное, по сравнению с другими группами растений содержание Si и Al было отмечено во мхах тундр Чукотки [39]. Для тундрового типа биологического круговорота веществ характерно преобладание таких элементов, как Al, Fe, Mn [27], которые отличаются высокой водомиграционной активностью. Сфагновые мхи, находящиеся в переувлажненных условиях, в наибольшей степени подвержены влиянию поверхностных вод, обогащенных этими элементами.

Для выявления особенностей содержания зольных элементов в растениях в Надымском р-не было проведено сопоставление с другими северными территориями (табл. 2). Сопоставление показало, что в Надымских тундрах содержание калия и фосфора во всех изучаемых растениях находится на среднем уровне. Повышено содержание Si, что, вероятно, вызвано преобладанием песчаных почв. Напротив, содержание Mg в растениях Надымских тундр низкое.

В целом необходимо отметить, что тундровые растения разных географических районов имеют сходный характер накопления элементов. Листья *Betula nana* отличаются накоплением Ni, Ca, Zn, Cr, содержание Al, Fe, Si повышено во мхах, Mn накапливается в кустарничках и карликовой березе. Лишайники характеризуются низким содержанием K и Ca.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование элементного состава растений, составляющих основу кормовой базы оленьих пастбищ на территории Надымского р-на Ямало-Ненецкого автономного округа: листьев карликовой березы *Betula nana* L.; листьев и побегов кустарничков: голубики обыкновенной *Vaccinium uliginosum* L., багульника болотного *Ledum palustre* L., мирта болотного *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; талломов кустистого лишайника кладонии звездчатой *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo, побегов сфагновых мхов *Sphagnum* sp. L. показало, что растения тундр отличаются низким содержанием эссенциальных макроэлементов (K и Ca), что, вероятно, обусловлено литогенным фактором – дефицитом этих элементов в преобладающих песчаных почвах. Высшие сосудистые растения и сфагновые мхи активно накапливают Cu, Ni, Co, Cr и Mn, содержание которых превышает среднемировые величины. Максимальное накопление этих элементов выявлено в листьях *Betula nana*. Содержание Al повышено по сравнению со среднемировым уровнем из-за высокой доли подвижных форм, легко усваиваемых растениями. Лишайник *Cladina stellaris*, составляющий основу рациона оленей в холодный период года, содержит крайне малое количество физиологически необходимых макроэлементов, в особенности K и Ca, а также микроэлемента Mn и Zn. Поэтому сбалансированное поступление микроэлементов в организм северного оленя требует сочетания зеленых и лишайниковых кормов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ 121041600045-8) Тюменского научного центра СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полуостров Ямал: растительный покров. 2006. Тюмень. 360 с.
2. Житков Б.М. 1913. Полуостров Ямал. – Записки РГО. Т. XLIX. 449 с.
3. Магомедова М.А. 1986. Антропогенная динамика лишайникового покрова на Тюменском севере Западной Сибири. – В сб.: Биологические проблемы Севера: Тез. докл. XI Всесоюзного симпозиума. Якутск. Вып. 2. С. 84–86.
4. Магомедова М.А. 1994. Лишайники предтундровых лесов Западной Сибири. – Бот. журн. 79(11): 1–11. http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19941111&rid=pdf_0005103
5. Магомедова М.А. 1994. Мониторинг состояния растительного покрова оленьих пастбищ. – Проблемы региональной экологии. 3: 76–80.
6. Магомедова М.А. 1996. Лишайники как компонент северных экосистем и объект мониторинга. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 16: 105–121.
7. Природа Ямала. Ред Л.Н. Добринский. 1995. Екатеринбург. 435 с.
8. Мониторинг состояния биоты в зоне воздействия промкомплекса по добыче и транспортировке газа на полуострове ЯМАЛ. Научный отчет. Екатеринбург, 1993. 328 с.

9. Магомедова М.А., Морозова Л.М. 2000. Восстановление оленьих пастбищ. — В сб.: Восстановление земель на Крайнем Севере. Сыктывкар. С. 126–134.
10. Иванов В.А. 2014. Оленеводство в арктическом субрегионе: состояние и направления развития. — Регион: Экономика и социология. 2(82): 39–51. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21946406>
11. Доклад о ходе реализации и оценке эффективности реализации государственной программы Ямало-Ненецкого автономного округа “Развитие агропромышленного комплекса, рыбного хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия” за 2021 г. Салехард, 2022. 25 с. <https://dapk.yanao.ru/documents/reports/165011/>
12. Абатуров Б.Д. 2005. Кормовые ресурсы, обеспеченность пищей и жизнеспособность популяций растительноядных млекопитающих. — Зоологический журнал. 84(10): 1251–1271. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9174263>
13. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. 1970. Микроэлементы в почвах СССР. М. 182 с.
14. Волковицкий А.И., Терёхина А.Н. 2020. Современные проблемы Ямальского оленеводства: дискуссии и перспективы. — Этнография. 2(8): 152–169. [https://doi.org/10.31250/2618-8600-2020-2\(8\)-152-169](https://doi.org/10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169)
15. Роббек Н.С., Алексеев Е.Д., Румянцев Т.Д. 2019. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в мясе оленей чукотской породы (харгин). — Главный зоотехник. 7: 60–65. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39162827>
16. Сариев А.Х., Чербакова Н.Н., Дербенев К.В., Федина Е.В. 2019. Химический состав кормовых растений, произрастающих в зоне влияния промышленных предприятий. — Вестн. КрасГАУ. 5: 68–74. http://www.kgau.ru/vestnik/2019_5/content/10.pdf
17. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. 2018. Биогеохимическая индикация микроэлементозов. М. 386 с.
18. Moskovchenko D., Shamilishvilly G., Abakumov E. 2019. Soil biogeochemical features of Nadym-Purovskiy province (Western Siberia). — Ecologia Balkanica. 11(2): 113–126.
19. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. 2019. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири. — Почвоведение. 4: 422–439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>
20. Романенко Е.А., Московченко Д.В., Кудрявцев А.А., Шигабаева Г.Н. 2020. Подвижные формы металлов в почвах Надым-Пуровского междуречья (Западная Сибирь). — Вестник Нижневартовского университета. 2: 136–145. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/18>
21. Бороздин Э.К. 1990. Северное оленеводство. Л. 240 с.
22. Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. М. 400 с.
23. Markert B. 1992. Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. — Vegetatio. 103(1): 1–30. <https://doi.org/10.1007/BF00033413>
24. Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA. 505 p.
25. Василевская В.Д. 1980. Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М. 235 с.
26. Московченко Д.В. 2013. Экогеохимия нефтедобывающих районов Западной Сибири. Новосибирск. 259 с.
27. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М. 764 с.
28. Глазовская М.А. 1988. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М. 328 с.
29. Елькина Г.Я., Денева С.В., Лаптева Е.М. 2019. Тяжелые металлы в системе почва-растение в биогеоценозах Большеземельской тундры. — Теоретическая и прикладная экология. 3: 41–47. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-041-047>
30. Сысо А.И. 2007. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск. 277 с.
31. Попова Л.Ф., Никитина М.В., Андреева Ю.И., Трофимова А.Н., Попов С.С. 2019. Тяжелые металлы в почвах евро-арктических территорий. — Изв. вузов. Химия и хим. технология. 62(3): 102–107.
32. Московченко Д.В. 1995. Биогеохимические особенности ландшафтов полуострова Ямал и их оптимизация в связи с нефтегазодобычей: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург. 24 с.
33. Тентюков М.П. 2013. Особенности распределения химических элементов в мерзлых почвах. — Криосфера Земли. 17(3): 100–107.
34. Башкин В.Б. 2017. Биогеохимические циклы в тундровых экосистемах импактных зон газовой индустрии. — Геохимия. 55(10): 954–966. <https://doi.org/10.7868/S0016752517100028>
35. Сысо А.И., Колпацников Л.А., Ермолов Ю.В., Черевко А.С., Сиромля Т.И. 2014. Элементный химический состав почв и растений Западного Таймыра. — Сиб. Экол. журн. 6: 855–862. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c12/c1247fd74f4347cd33d9c329daeac23d.pdf>
36. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. 2012. Элементный состав растений Уренгойских тундр. — Вест. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 12(1): 130–136. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18050792>

37. Agbalyan E.V., Zarov E.A., Filippov I.V., Pechkina Yu.A., Shinkaruk E.V., Yulbarisova K.V., Khnycheva N.A., Lapshina E.D. 2021. Biogeochemical assessment of the main plants at the Nadym district's reindeer pastures (Yamal-Nenets autonomous okrug). — Environmental dynamics and global climate change. 12(1): 27–41. <https://doi.org/10.17816/edgcc41876>
38. Московченко Д.В., Романенко Е.А. 2021. Микроэлементный состав кормовых растений оленьих пастбищ полуострова Ямал. — Раст. ресурсы. 57(4): 370–381. <https://doi.org/10.31857/S0033994621040099>
39. Пугачев А.А., Тихменев Е.А. 2016. Химический состав растений арктического побережья Чукотки. — Изв. Самарского науч. центра РАН. 18(5(3)): 478–483. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_5_478_483.pdf

Elemental Composition of Reindeer Pasture Plants and Lichens in Nadym District (Yamal-Nenets Autonomous Area)

E. A. Boldyreva*

Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

*e-mail: leta-92@list.ru

Abstract—There are plans to expand reindeer husbandry in the Nadym District of the Yamal-Nenets Autonomous Area. For this purpose, we studied the elemental composition of the dominant species of the tundra and open boreal woodland vegetation cover. We analyzed leaves of dwarf birch (*Betula nana* L.), dwarf shrubs of bog blueberry (*Vaccinium uliginosum* L.), marsh Labrador tea (*Ledum palustre* L.), and leatherleaf (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench); sphagnum moss (*Sphagnum* sp. L.); and fruticose lichens (*Cladonia stellaris* (Opiz.) Brodo). The X-ray fluorescence analysis was used to obtain data on the content of Ca, K, P, Si, Mg, Na, S, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Ti, and Al. We defined the biogeochemical features of the reindeer forage plants. In vascular plants and sphagnum mosses, the content of almost all essential macroelements is low, while the content of most microelements (Cu, Ni, Co, Cr, and Mn) exceeds the world average values. The lichens are characterized by low concentration of Ca, K, Mg, and P, which is more than one order of magnitude lower than the world average values, and the deficiency of microelements. The results were compared with the results from similar studies in other geographical regions of the tundra zone, and it was found that tundra plants have a similar pattern of element accumulation. In particular, leaves of dwarf birch are distinguished by accumulation of Mg; the content of Al, Fe, and Si is increased in mosses; Mn is accumulated in dwarf shrubs and dwarf birch; lichens are characterized by the deficiency of most elements. Therefore, in order to prevent animal diseases, it is necessary to improve the elemental composition of reindeers feed by increasing the share of “green” forage in winter, when lichens dominate the diet.

Keywords: Nadym District, tundra, deer pastures vegetation, microelement composition, biological accumulation coefficient, ash elements

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was carried out within the framework of the institutional research project (no. 121041600045-8) of the Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. [Yamal Peninsula: vegetation cover]. 2006. Tyumen. 360 p. (In Russian)
2. Zhitkov B.M. 1913. [Yamal Peninsula]. — Mémoires de la Société impériale russe de géographie. T. XLIX. 449 p. (In Russian)
3. Magomedova M.A. 1986. [Anthropogenic dynamics of lichen cover in the Tyumen north of Western Siberia]. — In: [Biological Problems of the North: Abstracts of the XI All-Union Symposium]. Yakutsk. T. 2. P. 84–86. (In Russian)
4. Magomedova M.A. 1994. Lichens in the Western Siberian open forests. — Botanicheskij Zhurnal. 79(11): 1–11. http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19941111&rid=pdf_0005103 (In Russian)
5. Magomedova M.A. 1994. [Monitoring of the vegetation cover of the reindeer ranges]. — Problems of regional ecology. 3: 76–80. (In Russian)
6. Magomedova M.A. 1996. [Lichens as a component of northern ecosystems and an object of monitoring]. — Problems of Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling. 16: 105–121. (In Russian)
7. [The Nature of Yamal]. 1995. Yekaterinburg. 435 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_63765#465 (In Russian)
8. [Monitoring of the state of biota in the zone impacted by the gas production and transportation complex at the Yamal Peninsula. Scientific report]. 1993. Yekaterinburg. 328 p. (In Russian)

9. *Magomedova M.A., Morozova L.M.* 2000a. [Restoration of reindeer ranges]. — In: [Restoration of lands in the Far North]. Syktyvkar. P. 126–134. (In Russian)
10. *Ivanov V.A.* 2014. Reindeer husbandry in the Arctic sub-region: current state and directions for the development. — Region: Economics and Sociology. 2(82): 39–51. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21946406> (In Russian)
11. [Report on the progress of implementation and evaluation of the implementation effectiveness of the state program of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug “Development of the agro-industrial complex, fisheries and regulation of agricultural products, raw materials and food markets” for 2021]. 2022. Salekhard. 25 p. <https://dapk.yanao.ru/documents/reports/165011/> (In Russian)
12. *Abaturov B.D.* 2005. Forage resources, supply with food, and viability of herbivorous mammals. — Zoological Journal. 84(10): 1251–1271. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9174263> (In Russian)
13. *Koval'skij V.V., Andrianova G.A.* 1970. [Trace elements in the soils of the USSR]. Moscow. 182 p. (In Russian)
14. *Volkovitskiy A.I., Terekhina A.N.* 2020. The contemporary issues of Yamal reindeer herding: discussions and perspectives. — Ethnography. 2(8): 152–169. [https://doi.org/10.31250/2618-8600-2020-2\(8\)-152-169](https://doi.org/10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169) (In Russian)
15. *Robbek N.S., Alekseev E.D., Rumyantseva T.D.* 2019. The content of trace elements and heavy metals in the meat of the reindeers of the Chukchi breed (Khargin). — Chief Animal Technician. 7: 60–65. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39162827> (In Russian)
16. *Sariev A.Kh., Cherbakova N.N., Derbenev K.V., Fedina E.V.* 2019. Chemical composition of forage plants growing in the zone of industrial enterprises' influence. — The Bulletin of KrasGAU. 5: 68–74. http://www.kgau.ru/vestnik/2019_5/content/10.pdf (In Russian)
17. *Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safonov V.A.* 2018. [Biological and geochemical indication of trace elements]. Moscow. 386 p. (In Russian)
18. *Moskovchenko D., Shamilishvilly G., Abakumov E.* 2019. Soil biogeochemical features of Nadym-Purovskiy province (Western Siberia), Russia. — Ecologia Balkanica. 11(2): 113–126. Article № eb.19143. http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2019_vol11_iss2/113_126_eb.19143.pdf
19. *Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G.* 2019. Background element concentrations in soils and bottom sediments of the North of Western Siberia. — Eurasian Soil Science. 52(4): 380–395. <https://doi.org/10.1134/S106422931902011X>
20. *Romanenko E.A., Moskovchenko D.V., Kudryavtsev A.A., Shigabaeva G.N.* 2020. Mobile forms of metals in soils in the Nadym-Pur interfluvium (Western Siberia). — Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2: 136–145. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/18> (In Russian)
21. *Borozdin E.K.* 1990. [Northern reindeer breeding]. Leningrad. 240 p. (In Russian)
22. *Dobrovol'skij V.V.* 2003. [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow. 400 p. (In Russian)
23. *Markert B.* 1992. Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. — Vegetatio. 103(1): 1–30. <https://doi.org/10.1007/BF00033413>
24. *Kabata-Pendias A.* 2011. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA. 505 p.
25. *Vasilevskaya V.D.* 1980. [Soil formation in the tundras of Central Siberia]. Moscow. 235 p. (In Russian)
26. *Moskovchenko D.V.* 2013. [Ecogeochemistry of oil-producing areas of Western Siberia]. Novosibirsk. 259 p. (In Russian)
27. *Perel'man A.I., Kasimov N.S.* 1999. [Geochemistry of the landscape]. Moscow. 764 p. (In Russian)
28. *Glazovskaya M.A.* 1988. [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow. 328 p. (In Russian)
29. *El'kina G.Ya., Deneva S.V., Lapteva E.M.* 2019. Heavy metals in the soil-plant system in biogeocenoses of the Bolshezemelskaya Tundra. — Theoretical and applied ecology. 3: 41–47. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-041-047> (In Russian)
30. *Syso A.I.* 2007. [Regularities of the chemical elements distribution in parent material and soils of Western Siberia]. Novosibirsk. 276 p. (In Russian)
31. *Popova L.F., Nikitina M.V., Andreeva Yu.I., Trofimova A.N., Popov S.S.* 2019. Heavy metals in soils of Euro-Arctic territories. — ChemChemTech. 62(3): 102–107. <https://doi.org/10.6060/ivkkt201962fp.5854> (In Russian)
32. *Moskovchenko D.V.* 1995. [Biogeochemical features of the Yamal Peninsula landscapes and their optimization in the context of oil and gas production: Abstr. Dis. Doct. (Geography) Sci.]. St. Petersburg. 24 p. (In Russian)
33. *Tentyukov M.P.* 2013. Features of the distribution of chemical elements in frozen soils. — The Cryosphere of the Earth. 17(3): 100–107. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20154227> (In Russian)
34. *Bashkin V.B.* 2017. Biogeochemical cycles in tundra ecosystems of in areas impacted by gas industry facilities. — Geochemistry International. 55(10): 946–956. <https://doi.org/10.7868/S0016752517100028>

35. *Syso A.I., Kolpashikov L.A., Ermolov Yu.V., Cherevko A.S., Siromlya T.I.* 2014. Elemental chemical composition of soils and plants of the Western Taimyr. — Contemporary Problems of Ecology. 7(6): 636–642. <https://doi.org/10.1134/S1995425514060146>
36. *Moskovchenko D.V., Moiseyeva I.N., Khozyainova N.V.* 2012. Microelement composition of plants from Urengoy tundra. — Vestnik ekologii, lesovedeniya and landshaftovedeniya. 12: 130–136. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18050792> (In Russian)
37. *Agbalyan E.V., Zarov E.A., Filippov I.V., Pechkina Yu.A., Shinkaruk E.V., Yulbarisova K.V., Khnycheva N.A., Lapshina E.D.* 2021. Biogeochemical assessment of the main plants at the Nadym district's reindeer pastures (YamalNenets autonomous okrug). — Environmental dynamics and global climate change. 12(1): 27–41. <https://doi.org/10.17816/edgcc41876>
38. *Moskovchenko D.V., Romaneko E.A.* 2021. Trace elements of forage plants of reindeer pastures of the Yamal Peninsula. — Rastitelnye Resursy. 57(4): 370–381. <https://doi.org/10.31857/S0033994621040099> (In Russian)
39. *Pugachev A.A., Tikhmenev E.A.* 2016. Chemical compound of plants of the Arctic coast of Chukotka. — Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 18(5(3)): 478–483. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_5_478_483.pdf (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

СОДЕРЖАНИЕ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ, ЦВЕТКАХ И ПЛОДАХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *CRATAEGUS* (ROSACEAE)

© 2023 г. С. В. Мухаметова^{1, *}, Ю. П. Демаков^{1, 2}, В. И. Таланцев¹

¹Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

²Государственный природный заповедник “Большая Кокшага”, г. Йошкар-Ола, Россия

*e-mail: MuhametovaSV@volgatech.net

Поступила в редакцию 12.06.2022 г.

После доработки 30.11.2022 г.

Принята к публикации 25.01.2023 г.

Проведена оценка содержания золы и зольных элементов в сухом веществе листьев, цветков и плодов 19 представителей рода *Crataegus* L. (боярышник), растущих в коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (Республика Марий Эл), с помощью атомно-абсорбционного анализа. Установлено, что содержание золы и зольных микроэлементов у каждого из таксонов этого рода сугубо специфично. Сухие плоды *C. flabellata* (Bosc) K. Koch и *C. macracantha* Lodd., характеризуются максимальной зольностью, а *C. × almaatensis* Pojark. и *C. altaica* (Loud.) Lange — минимальной. Максимальное содержание Fe в плодах обнаружено у *C. pinnatifida* Bunge, Mn — у *C. flabellata* (Bosc) K. Koch, Zn — у *C. volgensis* Pojark., *C. maximowiczii* C. K. Schneid. и *C. nigra* Waldst. et Kit., Cu — у *C. volgensis* Pojark. Наиболее высокое содержание токсичных элементов Ni, Sr и Co обнаружено в плодах *C. macracantha* Lodd., Cd — в плодах *C. altaica* (Loud.) Lange, *C. macracantha* Lodd. и *C. volgensis* Pojark. Различия между таксонами боярышника по элементному составу плодов отчасти могут быть обусловлены разным соотношением в них массы мякоти и семян. На содержание золы и микроэлементов в плодах боярышника оказывают также достоверное влияние условия вегетационного периода, однако их роль является более слабой. Концентрация в цветках боярышника эссенциальных для человека элементов, в частности Zn, у некоторых видов выше, чем в плодах, а потенциально-токсичного Sr, наоборот, ниже. В листьях же, особенно собранных осенью, содержание Sr в десятки раз выше, чем в плодах.

Ключевые слова: лекарственные растения, *Crataegus*, плоды, цветки, листья, содержание золы, концентрация микроэлементов

DOI: 10.31857/S0033994623010077, **EDN:** YAPIRT

В современных условиях лекарственное растительное сырье становится все более популярным, и доля его на мировом рынке лекарственных средств постоянно увеличивается [1–3]. Действие биологически активных веществ растений часто проявляется в комплексе с входящими в их состав минеральными элементами [3–6], содержание которых хотя и является одним из критериев качества сырья [1, 5, 7, 8], но у многих видов изучено слабо. Установлено, что элементный состав зависит как от видовой принадлежности растений, так и условий их произрастания [9, 10], поэтому проведение региональных исследований весьма актуально, в том числе и в отношении рода боярышник *Crataegus* L., относящегося к семейству Rosaceae. В России произрастает около 50 аборигенных и около 100 интродуцированных видов рода *Crataegus*, многие из которых широко используются в медицине. Так, в Государственную фармакопею РФ [11] включено 12 видов этого ро-

да, у которых разрешено применение цветков и плодов при функциональных расстройствах деятельности сердца и других органов [12–15]. Лечебный эффект препаратов боярышника связывают с наличием в сырье флавоноидов и проантоцианидинов, действие которых часто проявляется в комплексе с минеральными элементами [10, 16–20], в том числе микроэлементами, разделяемыми исследователями [21] на эссенциальные, т.е. жизненно необходимые (Fe, J, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn), условно эссенциальные (As, B, Br, F, Li, Ni), потенциально токсичные (Ag, Au, Ge, Rb, Sr) и токсичные (Al, Cd, Pb, Hg, Be). Установлено, что в листьях, цветках и плодах различных видов боярышника, в зависимости от их биологических особенностей, места произрастания и условий вегетационного периода, содержится до 33 макро- и микроэлементов [22]. В терапевтических дозах (50–200 мг/кг) плоды боярышника кроваво-крас-

Таблица 1. Систематическое положение изученных видов рода *Crataegus* L. [16, 25]**Table 1.** The taxonomic position of the studied *Crataegus* L. species [16, 25]

Секция Section	Серия Series	Наименование таксона Taxon name
Подрод <i>Crataegus</i> Subgenus <i>Crataegus</i>		
<i>Crataegus</i>	<i>Ambiguae</i> Pojark	<i>Crataegus volgensis</i> Pojark.
<i>Pinnatifidae</i> Zabel ex C.K. Schneid.	<i>Pinnatifidae</i> (Zabel ex C.K. Schneid.) Rehder	<i>C. pinnatifida</i> Bunge
Подрод <i>Sanguineae</i> Ufimov Subgenus <i>Sanguineae</i> Ufimov		
<i>Sanguineae</i> Zabel ex C.K. Schneid.	<i>Nigrae</i> (Loud.) Rus.	<i>C. chlorosarca</i> Maxim. <i>C. nigra</i> Waldst. et Kit.
	<i>Sanguineae</i> (Zabel ex C.K. Schneid.) Rehder	<i>C. altaica</i> (Loud.) Lange <i>C. maximowiczii</i> C.K. Schneid. <i>C. sanguinea</i> Pall.
Подрод <i>Amaricanae</i> El Gazzar Subgenus <i>Amaricanae</i> El Gazzar		
<i>Crus-galli</i> Loud.	<i>Punctatae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. punctata</i> Jacq. <i>C. punctata</i> f. <i>aurea</i> Aiton
<i>Coccineae</i> Loud.	<i>Molles</i> (Beadle ex Sarg.) Rehder	<i>C. arnoldiana</i> Sarg. <i>C. submollis</i> Sarg.
	<i>Coccineae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. pringlei</i> Sarg.
	<i>Tenuifoliae</i> (Beadle ex Sarg.) Rehder	<i>C. flabellata</i> (Bosc) K. Koch <i>C. flabellata</i> var. <i>grayana</i> (Eggl.) Palmer
	<i>Rotundifoliae</i> (Eggl.) Rehder	<i>C. chrysocarpa</i> Ashe <i>C. chrysocarpa</i> var. <i>rotundifolia</i> (Ehrh.) Phipps et Sennikov
	<i>Macracanthae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. macracantha</i> Lodd.
	Межсекционный гибрид	<i>C. × persimilis</i> Sarg. (<i>C. crus-galli</i> L. × <i>C. macracantha</i>)
Межподродовой гибрид Inter-subgenus hybrid		<i>C. × almaatensis</i> Pojark. (<i>C. songarica</i> K. Koch × <i>C. altaica</i>)

ного содержат Mn, Zn, Cu и Ni, а концентрация их в цветках в 2–3 раза выше [23, 24].

Цель исследования — оценка содержания золы и зольных элементов в сухом веществе листьев, цветков и плодов 19 представителей рода *Crataegus* L. (боярышник), представленных в коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (Республика Марий Эл), с помощью атомно-абсорбционного анализа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в 2012–2014 гг. на территории Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (БСИ ПГТУ). Объектами исследования были 19 интродуцированных таксонов рода *Crataegus*, относящихся к трем под родам, пяти

секциям и 10 сериям (табл. 1). Изученные экземпляры, возраст которых составляет от 30 до 60 лет, произрастают в экспозиции дендрария группами от 2 до 10 экз. на фоне местных смешанных лесных насаждений. Почва на территории экспозиции свежая, слабоподзолистая, среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых песчано-глинистыми пермскими отложениями. Метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследования различались (табл. 2). Наиболее теплое и влажное лето было в 2013 г., наиболее прохладное и сухое, но солнечное — в 2014 г.

Плоды изученных видов рода *Crataegus* собирали с освещенной стороны растений в августе–октябре в фазу их массового созревания. Плоды *C. punctata* и *C. punctata* f. *aurea* собирали после опадения, однако они не контактировали с поверхностью почвы из-за наличия плотного слоя листового опада и травяного покрова. У некото-

рых видов в мае–июне проводили также сбор цветков, а осенью — листьев.

Пробоподготовку растительных образцов проводили по типовым методикам [26, 27]. Их сушку до воздушно-сухого состояния (по три навески по каждому таксону) проводили в электрической сушилке для овощей и фруктов ЭСОФ-0.5/220 “Ветерок” при температуре 60 °С, затем помещали в сушильный шкаф “МИМП-17УЭ” (ЗАО “МИУС”, Тула, Россия) и высушивали при температуре 105 °С до постоянной массы, охлаждали в эксикаторе с осушающим агентом (безводный хлорид кальция) и взвешивали на электронных аналитических весах VibraHT/HTR-120E (Shinko Densy, Japan, 2008) с точностью до 0.0001 г. После этого их измельчали, помещали в фарфоровые тигли и озоляли в муфельной печи Shirana (ЧССР) при температуре 500 ± 10 °С в течение 6 ч. После озоления тигли помещали в эксикаторы с безводным хлоридом кальция для охлаждения, затем определяли массу золы и вычисляли зольность образцов. Полученную золу растворяли в 4 мл смеси концентрированных кислот, состоящей из химически чистой азотной и особо чистой соляной в соотношении 1 : 3, затем раствор пропускали в мерные колбы через обеззоленные фильтры и разбавляли дистиллированной водой, доводя объем до 25 мл. Определение влажности и зольности образцов проводили согласно ГОСТ 24027.2-80 [28].

Содержание ионов металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Sr, Co и Cd) оценивали на атомно-абсорбционном спектрометре “АAnalyst 400” (Perkin Elmer, USA, 2008) по типовой методике [27], используя градуировочные графики, построенные на основе государственных стандартных образцов растворов с гарантийным сроком годности. Растворы исследуемых образцов и стандартные калибровочные растворы ООО “ЦСОВВ” вводили в пламя горелки последовательно через распылительное устройство, используя в качестве горючего газа ацетилен, газа-окислителя — воздух, а калибровочного раствора — 0.1 М раствор HNO_3 . Условия анализа подбирали таким образом, чтобы величина относительной погрешности измерения аналитического сигнала не превышала 5%, а коэффициенты корреляции уравнений регрессий калибровочной кривой были не ниже 0.997. Каждую пробу анализировали на спектрометре три раза и вычисляли среднее значение по образцу. Всю мерную посуду (пипетки, колбы) предварительно калибровали по дистиллированной воде. Содержание элемента в образце оценивали по формуле

$$C_9 = C_p V_p M_3 / M_H M_C,$$

в которой C_9 — содержание элемента в сухом образце, мкг/г; C_p — концентрация элемента в растворе, мг/л; V_p — объем раствора, в котором была растворена зола (50 мл для Fe, Mn, Zn, Cu и 25 мл

Таблица 2. Основные параметры погоды в вегетационные периоды 2012–2014 гг. по данным гидрометеорологической станции Йошкар-Ола [33]

Table 2. The main weather parameters of 2012–2014 growing seasons according to Yoshkar-Ola weather station data [33]

Год Year	Месяцы Months				
	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Май–Август May–August
Продолжительность солнечного сияния, часы Duration of sunshine, hours					
2012	320	302	337	230	1189
2013	306	382	324	302	1314
2014	381	294	384	266	1325
Норма Normal	278	290	296	242	1107
Среднемесячная температура, °С Average monthly temperature, °C					
2012	13.5	17.2	19.3	16.8	16.7
2013	13.1	18.6	18.6	17.9	17.1
2014	14.6	15.9	17.7	16.9	16.3
Норма Normal	11.9	16.5	18.6	16.4	15.8
Сумма осадков, мм Total precipitation, mm					
2012	77	92	75	83	326
2013	63	67	152	127	409
2014	21	68	12	97	197
Норма Normal	42	63	78	62	245

для остальных элементов); M_3 — масса золы, г; M_H — масса навески золы, г; M_C — масса высушенного образца, г.

Цифровой материал обрабатывали с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Excel и Statistica 6.0 [29] стандартными методами вариационной статистики [30–32].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что в сухих плодах исследуемых видов боярышника наиболее высоким содержанием характеризуется Fe за которым с небольшим отставанием следует Mn, наиболее низким содержанием отличается токсичный Cd (табл. 3). Содержание зольных элементов в сухом веществе плодов боярышника варьирует в широких пределах: содержание Fe — от 7.5 до 24.5 мг/кг, Mn — от 4.1 до 48.1 мг/кг, Zn — от 2.1 до 10.5 мг/кг, зольность составляет от 2.2 до 4.0% (табл. 3). Содержание в

Таблица 3. Среднее содержание золы (%) и микроэлементов (мг/кг) в сухих плодах представителей рода *Crataegus* из коллекции Ботанического сада-института ПГТУ

Table 3. Average ash (%) and trace elements (mg/kg) content in dry fruits of *Crataegus* species from the collection of the Botanical Garden-Institute of VSUT

Элемент Element	Статистические параметры Statistical parameters						
	<i>N</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	min	max	<i>S</i>	<i>CV</i> , %	<i>p</i> , %
Зола Ash	46	3.00 ± 0.06	2.2	4.0	0.43	14.4	2.1
Fe	46	12.2 ± 0.7	7.5	24.5	4.4	35.9	5.3
Mn	46	9.1 ± 1.2	4.1	48.1	7.9	86.3	12.7
Zn	46	4.8 ± 0.3	2.1	10.5	1.9	39.0	5.8
Cu	29	3.5 ± 0.2	2.2	5.6	0.8	23.5	4.4
Ni	45	2.1 ± 0.1	0.4	4.0	0.8	37.4	5.6
Sr	34	1.5 ± 0.2	0.07	4.6	0.9	58.9	10.1
Co	39	0.40 ± 0.04	0.04	1.2	0.26	63.6	10.2
Cd	25	0.10 ± 0.01	0.01	0.2	0.06	89.8	18.0

Примечание. *N* — объем выборки (количество образцов, шт.); *M* ± *m* — среднее значение содержания элемента и его стандартная ошибка; min, max — минимальное и максимальное значения; *S* — среднеквадратическое (стандартное) отклонение; *CV* — коэффициент вариации; *p* — показатель точности опыта.

Note. *N* — sample size (number of samples, pcs.); *M* ± *m* — average value of element content and its standard error; min, max — minimum and maximum values; *S* — standard deviation; *CV* — variation coefficient; *p* — test accuracy indicator.

плодах Cd и Mn отличается наиболее высоким коэффициентом вариации, а содержание золы и Cu варьирует в наименьшей степени. Плоды большинства изученных видов по зольности сухого вещества соответствуют требованиям Государственной фармакопеи [11], согласно которой зольность не должна превышать 3%.

Плоды изученных таксонов рода *Crataegus* различаются между собой по зольности и содержанию химических элементов в сухом веществе. Максимальной зольностью плодов отличаются *C. flabellata* и *C. macracantha*, а минимальной — *C. × almaatensis* и *C. altaica* (рис. 1). Наиболее высоким содержанием Fe отличается *C. pinnatifida*, Mn — *C. flabellata*, Zn — *C. volgensis*, *C. nigra* и *C. maximowiczii*, Cu — *C. volgensis*, Ni, Sr и Co — *C. macracantha*, Cd — *C. altaica*, *C. macracantha* и *C. volgensis* (табл. 4). Наиболее низкое содержание Fe обнаружено в плодах *C. × almaatensis*, Mn — в плодах *C. chlorosarca*, Zn — в плодах *C. punctata*, Cu — *C. pinnatifida*, Ni и Co — *C. flabellata* var. *grayana*, Sr — *C. altaica*, Cd — в плодах *C. × persimilis* и *C. nigra*.

Результаты кластерного анализа показали (рис. 2), что все изученные таксоны боярышника по содержанию в плодах зольных элементов объ-

единяются между собой в две довольно четко выраженные группы, особняком от которых находится *C. flabellata*, отличающийся от остальных видов очень высоким содержанием золы и Mn, а также низким содержанием Fe и Ni. Первая группа является самой представительной и включает 11 таксонов. Во второй кластер входят оставшиеся семь видов, его основу составляют *C. altaica*, *C. nigra*, *C. maximowiczii* и *C. sanguinea*. Следует отметить, что виды серий *Nigrae* и *Sanguineae* отнесены к одному кластеру, что свидетельствует об общих закономерностях накопления изученных элементов в их плодах. Все представители секции *Coccineae*, за исключением *C. flabellata* и *C. arnoldiana*, оказались в одном кластере. Схожим образом накапливают металлы *C. punctata* и его форма, а также *C. chrysocarpa* и его разновидность, однако *C. flabellata* и его разновидность вошли в разные кластеры. Следует отметить, что различия между таксонами боярышника могут быть обусловлены неодинаковым соотношением в плодах массы мякоти и семян, имеющих разный химический состав, что требует дополнительного изучения. Максимальные и статистически достоверные различия между кластерами отмечаются по содержанию в плодах Mn, наиболее высокая концентрация которого обнаружена у *C. flabellata*.

Как показали результаты двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 5), наибольший вклад в дисперсию содержания золы, Mn, Zn и Ni в плодах боярышника, вносит фактор видовой принадлежности растений (60–81% дисперсии). Не влияет видовая принадлежность растений боярышника лишь на содержание в плодах Fe. Погодные условия вегетационного периода наиболее существенно влияют на накопление Fe и Ni (23–29% дисперсии), в меньшей степени — Zn.

На примере трех видов рода *Crataegus* было установлено, что содержание эссенциальных микроэлементов, особенно Zn, в сухом веществе цветков в 3–9 раз выше, чем в плодах, а потенциально токсичного Sr, наоборот, значительно ниже (табл. 4, 6), что делает цветки более предпочтительными для использования в лечебных целях. Таким образом, наши исследования не только подтвердили, но и уточнили результаты других исследователей [24]. Из трех видов, у которых было изучено содержание элементов не только в плодах, но и в цветках и листьях, *C. altaica* характеризуется максимальным содержанием в цветках Fe, Cu и Co, а *C. submollis* — Mn, Zn и токсичного Cd. В цветках и плодах *C. sanguinea* соотношение содержания Zn, Ni и Cd является заметно более низким, чем у двух других видов. В листьях, особенно собранных осенью, концентрация Sr в десятки раз выше, чем в плодах, что согласуется с имеющимися в литературе данными [34, 35].

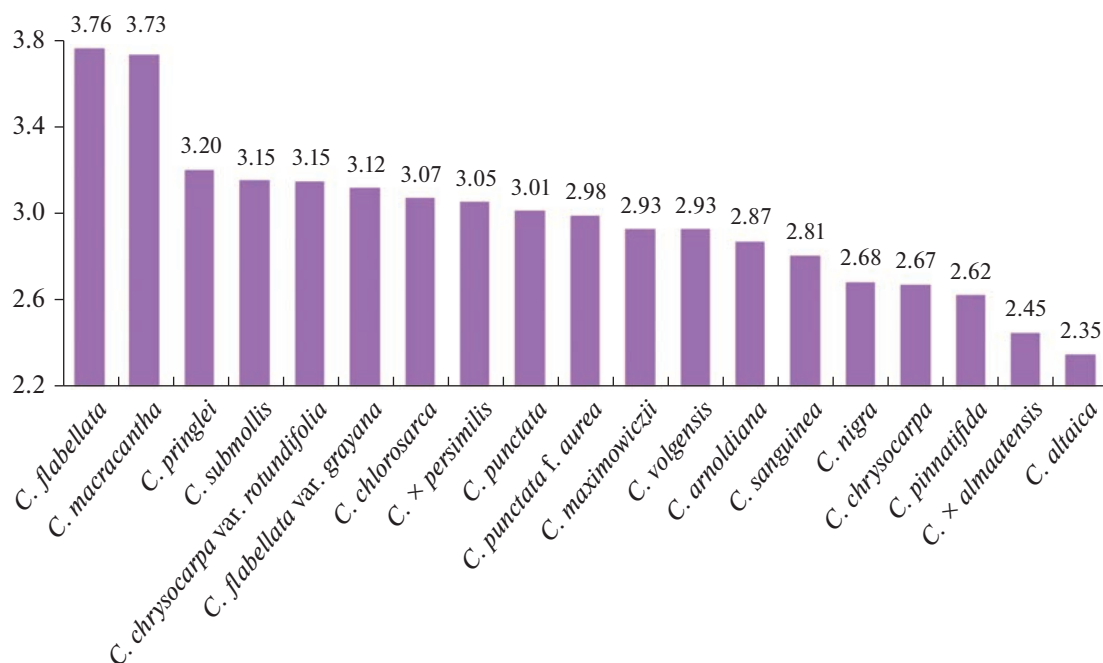


Рис. 1. Ранговый ряд распределения видов рода *Crataegus* по зольности сухих плодов. По горизонтали — наименование таксона, по вертикали — зольность, %.

Fig. 1. Rank series of *Crataegus* species distribution by ash content of dry fruits. X-axis — taxa, y-axis — ash content, %.

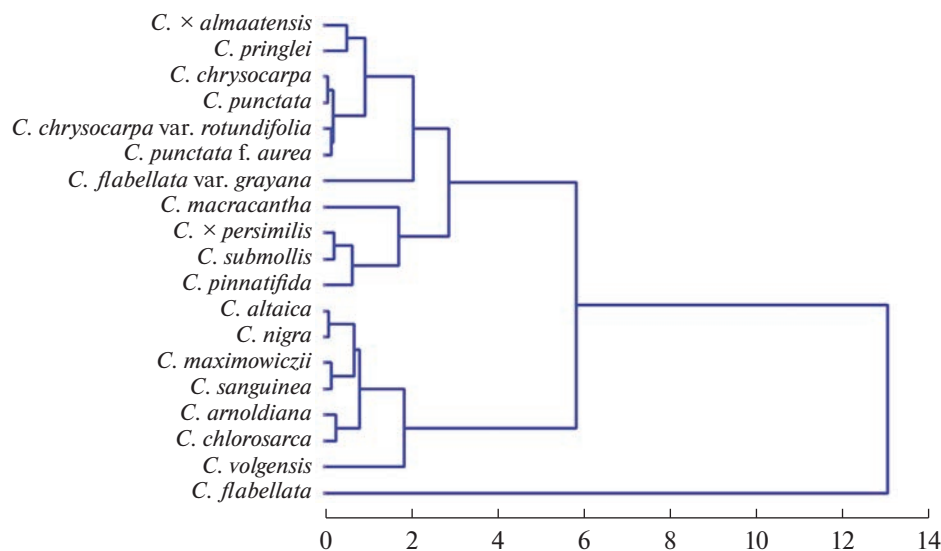


Рис. 2. Дендрограмма сходства видов рода *Crataegus* по содержанию в плодах золы и зольных элементов, выполненная способом Варда по матрице нормированных данных. По горизонтали — квадрат расстояния Евклида, по вертикали — наименование таксона.

Fig. 2. Dendrogram of *Crataegus* species similarity based on ash and trace elements content in fruits using Ward's clustering of the normalized data matrix. X-axis — square of Euclidean distance, y-axis — taxa.

Результаты нашей работы позволяют уточнить сведения о содержании химических элементов в надземных органах разных представителей рода боярышник, полученных другими исследователями [1, 3, 9, 10, 22, 36, 37]. Так, например, согласно литературным данным, содержание Fe в пло-

дах боярышников варьирует от 17.5 до 230 мг/кг, Mn — от 8.0 до 500 мг/кг, Zn — от 3.9 до 340 мг/кг, Cu — от 3.1 до 120 мг/кг. По нашим данным, при выращивании разных представителей рода боярышник в культуре на едином почвенном фоне пределы этого варьирования значительно уже и

Таблица 4. Содержание микроэлементов в плодах различных представителей рода *Crataegus*, интродуцированных в Ботанический сад-институт ПГТУ
Table 4. The trace elements content in fruits of some *Crataegus* species introduced at the Botanical Garden-Institute of VSUT

Вид Specie	Содержание элементов, мг/кг* Element content, mg/kg							
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Co	Cd
<i>Crataegus</i> × <i>almaatensis</i>	9.0	9.3	4.1	3.8	1.9	0.9	0.3	0.07
<i>C. altaica</i>	11.1	7.5	6.5	3.3	2.0	0.1	0.4	0.12
<i>C. arnoldiana</i>	12.3	7.2	5.1	—	2.7	2.1	0.3	<0.05
<i>C. chlorosarca</i>	9.7	4.1	6.8	3.6	2.9	0.2	0.3	<0.05
<i>C. chrysocarpa</i>	10.3	5.6	3.4	2.7	1.2	0.2	0.4	0.06
<i>C. chrysocarpa</i> var. <i>rotundifolia</i>	11.6	5.1	3.6	2.8	2.1	<0.1	0.4	0.08
<i>C. flabellata</i>	9.4	29.7	3.5	3.3	1.5	1.4	0.4	0.05
<i>C. flabellate</i> var. <i>grayana</i>	11.0	7.9	2.9	—	0.4	<0.1	0.1	<0.05
<i>C. macracantha</i>	10.1	9.0	3.9	2.7	3.8	3.0	0.6	0.11
<i>C. maximowiczii</i>	12.0	8.9	7.6	3.8	3.0	1.6	0.5	0.07
<i>C. nigra</i>	12.1	8.8	7.9	3.8	2.0	2.1	0.3	0.01
<i>C. pringlei</i>	13.5	10.4	4.3	3.4	1.5	2.2	0.6	0.04
<i>C.</i> × <i>persimilis</i>	16.1	6.7	3.1	3.2	2.0	1.1	0.3	0.02
<i>C. pinnatifida</i>	21.0	8.6	3.8	2.2	3.1	2.4	0.3	< 0.05
<i>C. punctata</i>	12.2	5.7	2.3	3.1	1.5	1.6	0.4	0.05
<i>C. punctata</i> f. <i>aurea</i>	11.5	4.8	2.4	3.6	1.7	1.1	0.5	0.05
<i>C. sanguinea</i>	13.5	6.2	6.9	4.3	2.9	0.7	0.4	0.08
<i>C. submollis</i>	14.9	7.2	4.4	3.6	2.6	1.0	0.4	0.04
<i>C. volgensis</i>	15.4	12.5	7.9	5.6	1.9	2.1	0.5	0.10

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.
Note: a dash means no data.

Таблица 5. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния видовой специфики и погодных условий разных лет на содержания золы и микроэлементов в плодах растений рода *Crataegus*
Table 5. Two-way ANOVA results of the effect of species specificity and weather conditions of different years on ash and trace elements content in *Crataegus* spp. fruits

Элемент Element	Доля вклада факторов и уровень ее достоверности (<i>p</i>) The share of the factors contribution and the level of reliability (<i>p</i>)				
	Видовая специфичность Species specificity		Погодные условия Weather conditions		Вклад неучтенных факторов, % Contribution of the overlooked factors, %
	Вклад фактора, % The contribution of factor, %	<i>p</i>	Вклад фактора, % The contribution of factor, %	<i>p</i>	
Зола Ash	81.3	<0.01	3.8	0.08	14.9
Fe	27.6	0.31	28.8	<0.01	43.6
Mn	67.0	<0.01	4.9	0.17	28.1
Zn	73.3	<0.01	14.6	<0.01	12.1
Ni	60.2	<0.01	23.5	<0.01	16.3

Таблица 6. Соотношение содержания микроэлементов в цветках и плодах, листьях и плодах некоторых видов рода *Crataegus*

Table 6. The ratio of the trace elements content in flowers and fruits, leaves and fruits of some *Crataegus* species

Вид Taxon	Микроэлементы Trace elements							
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Co	Cd
Цветки/плоды Flowers/fruits								
<i>Crataegus altaica</i>	4.7	4.0	7.9	5.8	3.1	<0.1	2.3	2.7
<i>C. sanguinea</i>	3.7	3.7	6.5	4.0	2.3	<0.1	1.7	1.6
<i>C. submollis</i>	3.9	4.7	8.9	3.9	3.3	<0.1	1.3	4.3
Листья (весна)/плоды Leaves (spring)/fruits								
<i>C. altaica</i>	6.4	6.0	7.0	2.6	1.3	60.6	2.2	1.1
<i>C. sanguinea</i>	4.4	5.8	5.8	1.9	1.1	17.0	1.4	0.8
<i>C. submollis</i>	3.8	6.0	6.4	2.7	2.6	8.3	1.4	2.3
Листья (осень)/плоды Leaves (autumn)/fruits								
<i>C. altaica</i>	3.7	11.6	7.0	1.4	0.8	304	4.0	2.7
<i>C. sanguinea</i>	3.6	7.0	6.6	1.0	1.0	49.5	3.3	2.4

составляют, в основном, 3–5, реже 10 крат. Рядом исследователей [5, 8, 38] отмечено содержание токсичного Cd в надземных органах боярышника. По результатам наших исследований, содержание этого элемента в плодах всех изученных представителей рода боярышник не превышает величины ПДК, установленного действующим СанПиН 2.3.2.1078-01 “Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов”.

Причиной различий в содержании элементов в плодах различных представителей рода *Crataegus* являются, как показано нами выше, видовые особенности и погодные условия, а также, возможно, применяемые при химическом анализе методики и аппаратура, что отмечают и другие исследователи [10].

В своей работе мы, по сравнению с другими исследователями, значительно расширили круг изученных таксонов боярышника и впервые показали характер рангового распределения растений по накоплению в их надземных органах хи-

мических элементов, что позволяет выбрать наиболее перспективные для использования виды.

Мы планируем продолжить наши исследования, расширив круг изучаемых химических элементов, используя рентгенофлуоресцентный метод и анализируя не только надземные органы растений, но и корни, что позволит полнее выявить полезные свойства различных видов рода *Crataegus*.

ВЫВОДЫ

Изучение содержания золы и зольных элементов в сухом веществе листьев, цветков и плодов 19 представителей рода *Crataegus* L., представленных в коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (Республика Марий Эл), с помощью атомно-абсорбционного анализа показало:

1. По среднему содержанию в сухих плодах представителей рода *Crataegus* изученные элементы образуют следующий ранговый ряд Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Sr > Co > Cd.

2. Содержание золы и микроэлементов в плодах разных таксонов боярышника варьирует в значительных пределах. Особенно велика вариативность содержания кадмия и марганца, меньше всего изменяется зольность и содержание меди.

3. Каждый из изученных таксонов боярышника характеризуется определенным сугубо специфичным содержанием золы и микроэлементов в сухих плодах. Наиболее высокой зольностью характеризуются плоды *Crataegus flabellata* и *C. macracantha*, наиболее низкой — плоды *C. × almaatensis* и *C. altaica*. По содержанию Fe лидирует *Crataegus pinnatifida*, по содержанию Mn — *C. flabellata*, Zn — *C. volgensis*, *C. maximowiczii* и *C. nigra*, Cu — *C. volgensis*, Ni, Sr и Co — *C. macracantha*, Cd — *C. altaica*, *C. macracantha* и *C. volgensis*.

4. На содержание золы и зольных элементов в плодах боярышника достоверно влияют погодные условия вегетационного периода. Однако их роль является менее значимой, чем таксономическая принадлежность изученных растений.

5. Концентрация эссенциальных элементов, особенно Zn, в цветках некоторых видов боярышника (*Crataegus altaica*, *C. submollis*) значимо выше, чем в плодах, а потенциально токсичного Sr, напротив, ниже. В листьях, особенно собранных осенью, содержание Sr в десятки раз выше, чем в плодах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kostić D., Mitić S., Zarubica A., Mitić M., Veličković J., Randelović S. 2011. Content of trace metals in medicinal plants and their extracts. — *Hemijiskaindustrija*. 65(2): 165–170. <https://doi.org/10.2298/HEMIND101005075K>

2. Зелиско Д.С., Кравчук Ж.Н. 2016. Современные требования к качеству и стандартизации лекарственного растительного сырья. — Агроэкологический журнал. 2: 49–59. <http://journalagroeco.org.ua/article/view/248315/245664>
3. Иванова Е.В., Воронкова И.П., Бондаренко А.И., Таренкова И.В. 2021. Иммуноотропный эффект лекарственных растений с различным микроэлементным составом. — Российский иммунологический журнал. 24(2): 331–336. <https://doi.org/10.46235/1028-7221-994-IEO>
4. Люта М.Л., Крамаренко Г.В., Калаталюк Л.В., Кость А.С. 2004. Использование лекарственного растительного сырья, содержащего микроэлементы, для получения сбора. — Провизор. 15. http://www.provisor.com.ua/archive/2004/N15/art_19.php?part_code=14&art_code=4282.
5. Kalny P., Fijałek Z., Daszczuk A., Ostapczuk P. 2007. Determination of selected microelements in polish herbs and their infusions. — Science of the Total Environment. 381(1–3): 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.026>
6. Медведев А.М., Магомедов А.М., Мишкевич Э.Ю. 2019. Современный методологический подход к обогащению продуктов питания эссенциальными микроэлементами. — Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). 3: 288–295. <http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2019/3/2019-3-288-295.pdf>
7. Кашин В.К. 2012. Содержание токсичных микроэлементов в лекарственных растениях Забайкалья. — Агрохимия. 11: 74–81. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18128188>
8. Juranović Cindrić I., Zeiner M., Mihajlov Konanov D., Stinger G. 2015. Metal characterization of white hawthorn organs and infusions. — J. Agric. Food Chem. 63(6): 1798–1802. <https://doi.org/10.1021/jf504474t>
9. Gentsheva G., Karadjova I., Buhalova D., Predoeva A., Nikolova K., Aleksieva I. 2014. Determination of essential and toxic elements in berries from Bulgaria (Plovdiv Region). — Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences. 67(9): 1241–1248. http://www.proceedings.bas.bg/index_old.html
10. Скрыпник Л.Н., Мельничук И.П., Королева Ю.В. 2020. Пищевая и биологическая ценность плодов боярышника *Crataegus oxyacantha* L. — Хим. растит. сырья. 1: 265–275. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015452>
11. Государственная фармакопея Российской Федерации. 2018. Издание XIV. Т. 4. М. С. 5913–5932. <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/>
12. Хишова О.М., Кравченко Е.В., Родионова Т.В. 2004. Фармакологическое действие боярышника кроваво-красного и применение в медицине. — Вест. фармации. 2(24): 69–76. <http://elib.vsmu.by/handle/123/19659>
13. Самылина И.А., Сорокина А.А., Пятигорская Н.В. 2010. Боярышник (*Crataegus*): возможности медицинского применения. — Фарматека. 8(202): 83–85. <https://pharmateca.ru/en/archive/article/7828>
14. Caliskan O. 2015. Mediterranean Hawthorn fruit (*Crataegus*) species and potential usage. — In: The Mediterranean Diet. Elsevier BV. P. 621–628. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407849-9.00055-5>
15. Валеева А.Р., Макарова Н.В., Валиulina Д.Ф. 2020. Сравнительная характеристика влияния технологии экстракции на антиоксидантные свойства для плодов и цветков боярышника (*Crataegus*). — Хим. растит. сырья. 1: 157–166. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015168>
16. Phipps J.B., O'Kennon J.R., Lance R.W. 2003. Hawthorns and medlars. Portland, 2003. 139 p.
17. Гончаров Н.Ф. 2008. Сравнительное изучение гидроксикоричных кислот и флавоноидных соединений плодов некоторых видов рода *Crataegus* L. — Кубанский научный медицинский вестник. 5(104): 49–52. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12364956>
18. Меженська Л.О., Меженський В.М. 2013. Рід Глід (*Crataegus* L.) в Україні: Інтродукція, селекція, еколого-біологічні особливості. Київ. 234 с.
19. Гончаров Н.Ф. 2014. Гидроксикоричные кислоты нефармакопейных видов рода Боярышник. — Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 11–1(182): 187–190. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21694005>
20. Aladag M.O., Doğu S., Uslu N. et al. 2020. Effect of drying on antioxidant activity, phenolic compounds and mineral contents of hawthorn and wild pear fruits. — Erwerbs-Obstbau. 62(4): 473–479. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00526-6>
21. Скальный А.В., Рудаков И.А. 2004. Биоэлементы в медицине. М. 272 с.
22. Гончаров Н.Ф., Станкович М. 2011. Микроэлементарный состав и санитарно-гигиеническая оценка сырья и фитопрепаратов *Crataegus laevigata* (Poir) DC. — Вестн. новых медицинских технологий. 18(1): 203–204. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16750180>
23. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. 1990. Почему растения лечат. М. 256 с.
24. Орлова В.А., Плетенева Т.В., Ванивская Э.Н., Балуда В.П. 1990. Определение микроэлементов в лекарственном растительном сырье методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой после автоклавного концентрирования. — Журнал аналитической химии. 45(1): 29–34.

25. Уфимов Р.А. 2013. Заметки о роде *Crataegus* L. (Rosaceae). — Новости сист. высш. раст. 44: 113–125. <https://doi.org/10.31111/novitates/2013.44.113>
26. Методы биогеохимического исследования растений. 1987. Л. 450 с.
27. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. 2007. М. 20 с.
28. Мухаметова С.В., Таланцев В.И. 2013. Весовые показатели плодов боярышника и содержание в них микроэлементов. — Бутлеровские сообщения. 36(11): 119–127. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21175713>
29. Боровиков В.П., Боровиков И.П. 1998. Statistica — статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М. 608 с.
30. Большаков А.А., Каримов Р.Н. 2008. Методы обработки многомерных данных и временных рядов. М. 522 с.
31. Зубов Н.Н., Умаров С.З., Бунин С.А. 2008. Математические методы и модели в фармацевтической науке и практике: руководство для провизоров и руководителей фармацевтических предприятий (организаций). СПб. 249 с.
32. Сиделев С.И. 2012. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию. Ярославль. 140 с.
33. Специализированные массивы для климатических исследований. 2000–2022. ВНИИГМИ-МЦД. 2011. <http://meteo.ru/it/178-aisori>
34. Kabata-Pendias A., Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd Edition. Boca Raton. 403 p. <https://doi.org/10.1201/9781420039900>
35. Попов А.И., Деметьев Ю.Н. 2014. Исследование химических элементов в листьях голубики обыкновенной в процессе онтогенеза. — Вестн. КрасГАУ. 9: 91–96. <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2014/9.pdf>
36. Pehlivan M., Turan M., Kaya T., Şimşek U. 2015. Heavy metal and mineral levels of some fruit species grown at the roadside in the east part of Turkey. — Fresenius Environmental Bulletin. 24(4): 1302–1309. <https://www.prt-parlar.de/download/>
37. Омариева Л.В., Ибригова Т.А. 2016. Боярышники Дагестана — ценный источник биологически активных веществ. — Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 116(2): 1362–1372. <http://sj.kubsau.ru/2016/02/87.pdf>
38. Ekin S., Bayramoglu M., Goktasoglu A., Ozgocke F., Kiziltas H. 2017. Antioxidant activity of aqueous and ethanol extracts of *Crataegus meyeri* Pojark. leaves and contents of vitamin, trace element. — J. Chil. Chem. Soc. 62(4): 3661–3667. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072017000403661>

The Content of Ash Elements in the Above-Ground Organs of Some *Crataegus* (Rosaceae) Species

S. V. Mukhametova^{a, *}, Yu. P. Demakov^{a, b}, V. I. Talantsev^a

^aVolga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

^bState Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”, Yoshkar-Ola, Russia

*e-mail: MukhametovaCV@volgatech.net

Abstract—The study assessed the content of ash elements in the dry matter of fruits, flowers and leaves of 19 hawthorn (*Crataegus* L.) species. The plants from the collection of the Botanical Garden-Institute of the Volga State University of Technology (VSUT), the Mari El Republic, were studied. The content of eight elements was determined by atomic absorption spectrometry. It is shown that ash and trace elements content is species-specific. The ash content in dry fruits is highest in *C. flabellate* (Bosc) K. Koch and *C. macracantha* Lodd., and lowest in *C. × almaatensis* Pojark. and *C. altaica* (Loud.) Lange. The highest content of Fe was found in *C. pinnatifida* Bunge, Mn — in *C. flabellate* (Bosc) K. Koch, Zn — in *C. volgensis* Pojark., *C. maximowiczii* C.K. Schneid. and *C. nigra* Waldst. et Kit., Cu — in *C. volgensis* Pojark., Ni, Sr and Co — in *C. macracantha* Lodd., Cd — in *C. altaica* (Loud.) Lange, *C. macracantha* Lodd., *C. volgensis* Pojark. Difference in the fruit elemental composition between hawthorn species may be due to the difference in proportion of pulp and seeds. The content of ash and mineral elements in hawthorn fruits varies depending on the growing season conditions. The content of Fe, Zn and Ni increases in years with warm and humid summers, while the content of Mn decreases, but the weather conditions of the growing season account for only 3.8 to 28.8% of the variance of values. In hawthorn, the concentration of trace elements essential for humans, especially Zn, is significantly higher in flowers, than in fruits, and, on the contrary, concentration of potentially toxic Sr is higher in fruits. In leaves, especially harvested in autumn, Sr content is tens of times higher than in fruits.

Keywords: medicinal plants, hawthorn, *Crataegus*, fruits, flowers, leaves, ash content, trace elements amount

REFERENCES

1. Kostić D., Mitić S., Zarubica A., Mitić M., Veličković J., Randelović S. 2011. Content of trace metals in medicinal plants and their extracts. — *Hemijška industrija*. 65(2): 165–170. <https://doi.org/10.2298/HEMIND101005075K>
2. Zelisko D.S., Kravchuk Zh.N. 2016. [Current requirements for quality and standardization of medicinal plant raw materials]. — *Agroecological Journal*. 2: 49–59. <http://journalagroeco.org.ua/article/view/248315/245664> (In Russian)
3. Ivanova E.V., Voronkova I.P., Bondarenko A.I., Tarenkova I.V. 2021. Immunotropic effect of medicinal plants with different microelemental composition. — *Russian Journal of Immunology*. 24(2): 331–336. <https://doi.org/10.46235/1028-7221-994-IEO> (In Russian)
4. Lyuta M.L., Kramarenko G.V., Kalatalyuk L.V., Kost A.S. 2004. [The use of medicinal plant raw materials containing trace elements for officinal mixtures]. — *Provizor*. 15. http://www.provisor.com.ua/archive/2004/N15/art_19.php?part_code=14&art_code=4282 (In Russian)
5. Kalny P., Fijatek Z., Daszczuk A., Ostapczuk P. 2007. Determination of selected microelements in Polish herbs and their infusions. — *Science of the Total Environment*. 381(1–3): 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.026>
6. Medvedev A.M., Magomedov A.M., Micevich E.Y. 2019. Modern methodological approach to the enrichment of food essential trace elements. — *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Polytechnical bulletin)*. 3: 288–295. <http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2019/3/2019-3-288-295.pdf> (In Russian)
7. Kashin V.K. 2012. Toxic microelements in medicinal plants of the Transbaikalia. — *Agrokimiya*. 11: 74–81. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18128188> (In Russian)
8. Juranović Cindrić I., Zeiner M., Mihajlov Konanov D., Stinger G. 2015. Metal characterization of white hawthorn organs and infusions. — *J. Agric. Food Chem.* 63(6): 1798–1802. <https://doi.org/10.1021/jf504474t>
9. Gentsheva G., Karadjova I., Buhlova D., Predoeva A., Nikolova K., Aleksieva I. 2014. Determination of essential and toxic elements in berries from Bulgaria (Plovdiv Region). — *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*. 67(9): 1241–1248. http://www.proceedings.bas.bg/index_old.html
10. Skrypnik L.N., Melnichuk I.P., Koroleva Yu.V. 2020. Nutritional and biological value of fruits of *Crataegus oxyacantha* L. — *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 1: 265–275. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015452> (In Russian)
11. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. 2018. Edition XIV. Vol. 4. Moscow. P. 5913–5932. <https://docs.rucl.ru/feml/pharma/v14/vol4/> (In Russian)
12. Khishova O.M., Kravchenko E.V., Rodionova T.V. 2004. Pharmacological effect of *Crataegus sanguinea* Pall. and its application in medicine. — *Vestnik farmatsii*. 2(24): 69–76. <http://elib.vsmu.by/handle/123/19659> (In Russian)
13. Samylina I.A., Sorokina A.A., Pyatigorskaya N.V. 2010. [Hawthorn (*Crataegus*): Options for medical use]. — *Farmateka*. 8(202): 83–85. <https://pharmateka.ru/en/archive/article/7828> (In Russian)
14. Caliskan O. 2015. Mediterranean Hawthorn fruit (*Crataegus*) species and potential usage. — In: *The Mediterranean Diet*. Elsevier BV. P. 621–628. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407849-9.00055-5>
15. Valeeva A.R., Makarova N.V., Valiulina D.F. 2020. Comparative characteristics of the influence of technology of extraction on antioxidant properties of the hawthorn (*Crataegus*) fruits and flowers]. — *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 1: 157–166. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015168> (In Russian)
16. Phipps J.B., O'Kennon J.R., Lance R.W. 2003. Hawthorns and medlars. Portland. 139 p.
17. Goncharov N.F. 2008. Comparative studying hydroxycinnamic acids and flavonoids connections of sort *Crataegus* L. some kinds fruits. — *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 5(104): 49–52. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12364956> (In Russian)
18. Mezhen'ska L.O., Mezhen'sky V.M. 2013. Hawthorn genus (*Crataegus* L.) in Ukraine: introduction, selection, eco-biological features. Kyiv. 234 p. (In Ukrainian)
19. Goncharov N.F. 2014. Hydroxycinnamic acid non-pharmacopoeial species of hawthorn. — *Scientific bulletins of Bel-SU. Medicine. Pharmacy*. 11–1(182): 187–190. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21694005> (In Russian)
20. Aladag M.O., Doğu S., Uslu N., Özcan M.M., Gezgın S., Dursun N. 2020. Effect of drying on antioxidant activity, phenolic compounds and mineral contents of hawthorn and wild pear fruits. — *Erwerbs-Obstbau*. 62(4): 473–479. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00526-6>
21. Skalniy A.V., Rudakov I.A. 2004. [Bioelements in medicine]. Moscow. 272 p.
22. Goncharov N.F., Stankovic M. 2011. Micro-elementary composition and sanitary and hygienic evaluation of stuff and phytopreparations of *Crataegus laevigata* (Poir) DC. — *Journal of New Medical Technologies*. 18(1): 203–204. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16750180> (In Russian)
23. Lovkova M.J., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. 1990. [Why do plants cure?]. Moscow. 256 p. (In Russian)

24. Orlova V.A., Pleteneva T.V., Vanivskaya E.N., Baluda V.P. 1990. Determination of trace elements in medicinal plant raw materials by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma after autoclave concentration. — *Journal of Analytical Chemistry*. 45(1): 29–34. (In Russian)
25. Ufimov R.A. 2013. Notes on the genus *Crataegus* L. (Rosaceae). — *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*. 44: 113–125. <https://doi.org/10.31111/novitates/2013.44.113> (In Russian)
26. [Methods of biogeochemical studies of plants]. 1987. Leningrad. 450 p. (In Russian)
27. [Method for performing measurements of the gross content of copper, cadmium, zinc, lead, nickel, manganese, cobalt, chromium by atomic absorption spectroscopy]. 2007. Moscow. 20 p. (In Russian)
28. Mukhametova S.V., Talantsev V.I. 2013. Weight parameters of hawthorn fruits and trace element content. — *Butlerov communications*. 36(11): 119–127. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21175713> (In Russian)
29. Borovikov V.P., Borovikov I.P. 1998. [Statistica — statistical analysis and data processing in Windows environment]. Moscow. 608 p. (In Russian)
30. Bolshakov A.A., Karimov R.N. 2008. [Methods of processing multidimensional data and time series]. Moscow. 522 p. (In Russian)
31. Zubov N.N., Umarov S.Z., Bunin S.A. 2008. [Mathematical methods and models in pharmaceutical science and practice: a guide for pharmacists and managers of pharmaceutical enterprises (organizations)]. Saint Petersburg. 249 p. (In Russian)
32. Sidelev S.I. 2012. [Mathematical methods in biology and ecology: an introduction to elementary biometrics]. Yaroslavl. 140 p. (In Russian)
33. *Specialized Datasets for Climatic Studies*. 2000–2022. All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Centre (RIHMI-WDC). <http://meteo.ru/it/178-aisori>
34. Kabata-Pendias A., Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd Edition. Boca Raton. 403 p.
35. Popov A.I., Dementiev Y.N. 2014. The research of chemical elements in ordinary blueberry leaves in the ontogenesis process. — *The Bulletin of KrasGAU*. 9: 91–96. <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2014/9.pdf>
36. Pehlivan M., Turan M., Kaya T., Şimsek U. 2015. Heavy metal and mineral levels of some fruit species grown at the roadside in the east part of Turkey. — *Fresenius Environmental Bulletin*. 24(4): 1302–1309. <https://www.prt-parlar.de/download/>
37. Omarieva L.V., Isrigova T.A. 2016. Dagestan hawthorn — a valuable source of biologically active substances. — *Scientific Journal of KubSAU*. 116(2): 1362–1372. <http://sj.kubsau.ru/2016/02/87.pdf> (In Russian)
38. Ekin S., Bayramoglu M., Goktasoglu A., Ozgokce F., Kiziltas H. 2017. Antioxidant activity of aqueous and ethanol extracts of *Crataegus meyeri* Pojark. leaves and contents of vitamin, trace element. — *J. Chil. Chem. Soc.* 62(4): 3661–3667. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072017000403661>

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

ЗАВИСИМОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА *PINUS SYLVESTRIS* (PINACEAE) ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. И. В. Ромашкин¹, *, Н. В. Геникова¹, А. М. Крышень¹,
С. А. Мошников¹, Н. В. Поликарпова²

¹Институт леса Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

²Государственный природный заповедник “Пасвик”, п. Никель, Россия

*e-mail: romashkin@krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022 г.

После доработки 29.12.2022 г.

Принята к публикации 25.01.2023 г.

Изучено влияние метеорологических факторов и аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в зависимости от удаленности от ГМК “Печенганикель” (пгт. Никель, Мурманская обл.). По содержанию основных элементов-поллютантов (S, Ni и Cu) в лесной подстилке выделено три зоны загрязнения — фоновая, буферная и импактная. Установлено, что значительное ослабление сосновых древостоев в импактной зоне являлось следствием комплекса факторов — длительного техногенного загрязнения территории в 1970-е гг. и неблагоприятных метеорологических явлений в середине 1980-х гг. По мере уменьшения объемов выбросов в период 1988–2018 гг. обнаружено достоверное увеличение (до 44%) радиального прироста деревьев *P. sylvestris* в импактной зоне и отсутствие значимых изменений в фоновой и буферной зонах. В дальнейшем величина радиального прироста деревьев в импактной зоне достигла и даже превзошла соответствующие показатели в фоновой зоне, несмотря на относительно высокий возраст исследуемых растений. Это подчеркивает высокие адаптационные способности *P. sylvestris*.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, сосна обыкновенная, радиальный прирост, техногенное загрязнение, климат, мониторинг

DOI: 10.31857/S0033994623010089, **EDN:** YAPOVC

Предприятия горнодобывающей, металлургической и лесоперерабатывающей промышленности оказывают негативное влияние на прилегающие к ним территории, что неминуемо приводит к снижению продуктивности, нарушению устойчивости и постепенной деградации лесных экосистем [1, 2]. Наиболее сильное техногенное воздействие связывают с деятельностью медно-никелевых предприятий, выбрасывающих в атмосферу значительные объемы диоксида серы (SO₂) и тяжелых металлов, в частности меди (Cu) и никеля (Ni) [3]. Хотя пути миграции загрязняющих веществ в наземных экосистемах разнообразны, в большинстве случаев они проходят через растительные компоненты (продуценты) [4]. Снижение устойчивости лесных сообществ, подверженных влиянию техногенного загрязнения, сопровождается изменением структуры древостоев и увеличением числа ослабленных и погибших растений [5]. По мере приближения к источнику эмиссии у деревьев может наблюдаться снижение интенсивности водного

обмена, что приводит к повреждению ассимиляционного аппарата и, следовательно, снижению прироста по высоте и диаметру [2, 6, 7].

Радиальный прирост (РП) является одним из наиболее информативных показателей, способных продемонстрировать влияние различных факторов на рост древесного растения на протяжении всей его жизни [8–10]. При этом закономерности изменчивости РП обусловлены как биологическими особенностями вида, так и совокупным действием экологических и климатических условий [11]. В большинстве исследований [12–14] с увеличением объемов загрязнения отмечается достоверное снижение РП, которое сопровождается увеличением амплитуды его колебаний и нарушением цикличности. Подобные результаты получены не только на локальном уровне, но и на всем Евразийском пространстве [13]. Стоит отметить, что при изучении влияния техногенного загрязнения на рост древесных растений следует

уделять особое внимание высокой зависимости РП от климатических флуктуаций [15–17].

В большинстве исследований влияние техногенного загрязнения на лесные экосистемы рассматривается за относительно короткий временной период, включающий несколько десятилетий [13]. В 2018 г. Институтом леса КарНЦ РАН с целью создания системы мониторинга северотаежных лесов в условиях климатических изменений и влияния аэротехногенного загрязнения была заложена сеть постоянных пробных площадей (ПП), расположенных на территории заповедника “Пасвик” (Мурманская обл.) и в его окрестностях. Выбор объекта мониторинга обоснован хронологией работы горно-металлургического комбината (ГМК) “Печенганикель”, в которой можно выделить этапы с различным уровнем техногенной нагрузки. Активное промышленное развитие региона началось в 1930-х гг., начало работы ГМК датируется 1937-м г. Пик медно-никелевого производства пришелся на 1970-е гг. К этому времени на комбинаты “Печенганикель” и “Североникель” поставлялось более 1 млн т норильской руды с более высоким содержанием серы (S) (около 30%) по сравнению с рудой Кольских месторождений (до 5%). Как итог, общий объем выбросов SO_2 в 1977 г. составил 411 тыс. т. Введение в строй первой (1981 г.) и второй (1987 г.) линий сернокислотного производства позволило снизить выбросы SO_2 на 10.9 и 27.2% соответственно. С 1992 по 2002 гг. происходил постепенный отказ от переработки руды норильских месторождений, что привело к устойчивому снижению выбросов как SO_2 , так и тяжелых металлов. Последующие оптимизационные мероприятия, включающие модернизацию трактов газоудаления конвертеров и реконструкцию сернокислотного производства, позволили сократить выбросы SO_2 до 50–56 тыс. т/год (2010 г.), Ni и Cu – до 250 и 130 т/год (2015 г.) соответственно [3, 18]. В 2021 г. ГМК “Печенганикель” прекратил свою деятельность.

Цель работы – исследовать реакцию деревьев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. на изменение объемов атмосферных выбросов медно-никелевого производства ГМК “Печенганикель” (пгт. Никель). Были поставлены следующие задачи: а) изучить динамику РП деревьев *P. sylvestris*, произрастающих на разном удалении от источника загрязнения; б) определить влияние климатических (метеорологических) показателей (среднемесячные температура воздуха и количество осадков) на динамику РП *P. sylvestris*; в) определить влияние объема выбросов основных загрязнителей медно-никелевого производства – SO_2 , Ni и Cu, на динамику РП сосны. Мы предположили, что по мере увеличения загрязнения происходит закономерное снижение РП, а его флуктуации обусловлены как изменением уровня выбросов

загрязнителей, так и климатическими (погодными) экстремумами. При этом снижение аэротехногенной нагрузки как в пространственном, так и временном аспектах должно положительно сказываться на росте *P. sylvestris*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись насаждения *P. sylvestris*, расположенные на территории и в окрестностях ФГБУ “Государственный природный заповедник (ГПЗ) “Пасвик” (Печенгский р-н, Мурманская обл.). На разном удалении от ГМК “Печенганикель” (пгт. Никель) были заложены семь постоянных пробных площадей (ПП) (рис. 1). Минимальное расстояние от ПП до комбината, как источника аэротехногенного загрязнения, составило 11 км (ПП № 7), максимальное – 82 км (ПП № 1). Характеристика исследуемых ПП и их географические координаты представлены в табл. 1.

На основе данных по содержанию S, Ni и Cu в лесной подстилке (горизонт О) мы разделили территорию исследования на зоны с разным уровнем техногенного загрязнения. Содержание S в лесной подстилке слабо изменялось по мере приближения к источнику загрязнения, в то время как содержание тяжелых металлов значительно возрастало. Это позволило выделить три зоны: 1) фоновую (ПП № 1–2), где содержание Cu и Ni в среднем составило 19.9 и 12.0 мг/кг соответственно; 2) буферную (ПП № 3–4), где содержание вышеописанных элементов в среднем составило 31.8 и 33.2 мг/кг соответственно; 3) импактную (ПП № 5–7), где содержание Cu и Ni достигало 728.6 и 879.0 мг/кг соответственно, то есть превышало фоновые значения в 28.2 и 65.2 раз соответственно (рис. 2).

Постоянные ПП закладывали в наиболее характерных местах лесных массивов. Таксационные работы проводили в соответствии с общепринятой методикой. Проводили сплошной пересчет всех деревьев (живых и сухостоя) с определением диаметра с точностью до 0.1 см. Высотомером Suunto у 20–25 деревьев на ПП измеряли высоту. С помощью возрастного бурава Пресслера у основания ствола 5–8 деревьев отбирали керны для определения возраста. Дополнительно проводили описание живого напочвенного покрова и морфологического строения почв. На основе этих характеристик определяли тип леса.

Для оценки состояния деревьев при лесопатологическом обследовании использовали шкалу “Правил санитарной безопасности в лесах” [19]. Жизненное состояние деревьев определяли по совокупности основных внешних признаков: цвет и возраст хвои, изреживание скелетной части кроны, доля отмерших и отмирающих ветвей. Дополнительно оценивали влияние лесопатоло-

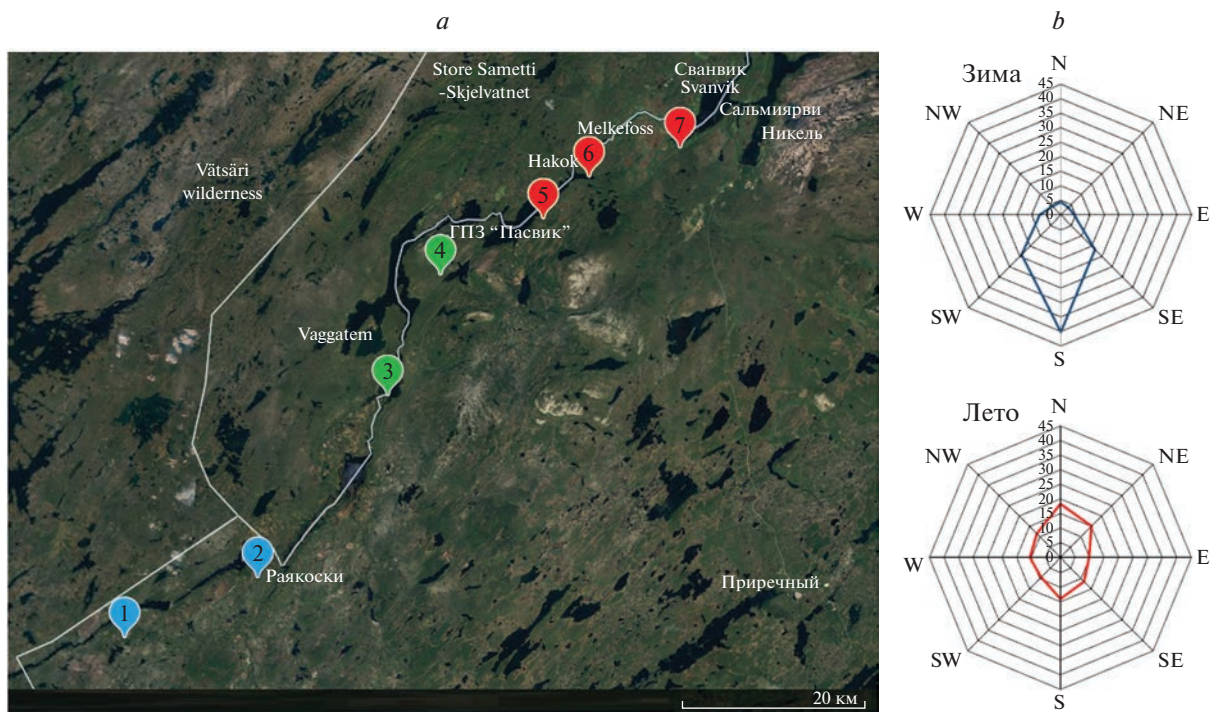


Рис. 1. а) Расположение постоянных ПП на разном удалении от источника аэротехногенного загрязнения (ГМК «Печенганикель», пгт. Никель). Цветами обозначены зоны загрязнения: синий – фоновая (ПП № 1–2), зеленый – буферная (ПП № 3–4), красный – импактная (ПП № 5–7). б) Роза господствующих ветров в зимний и летний периоды в районе пгт. Никель.

Fig. 1. а) Location of the permanent sample plots at different distances from the source of aerotechnogenic pollution («Pechenganikel», Nikel). The colors indicate pollution zones: blue – control zone (PSP № 1–2), green – buffer zone (PSP № 3–4), red – impact zone (PSP № 5–7). б) Summer and winter wind roses of the town of Nickel.

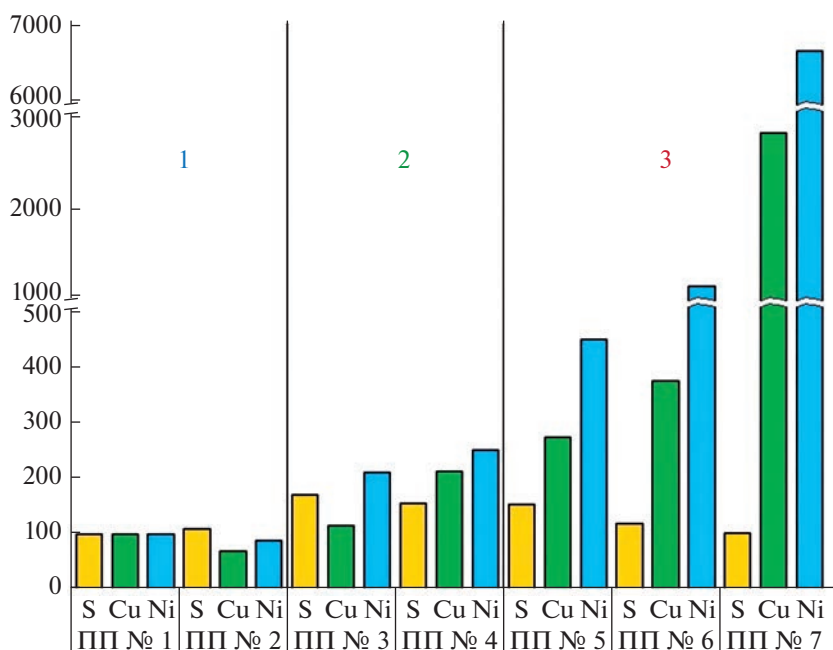


Рис. 2. Содержание элементов-загрязнителей (S, Cu, Ni) в лесной подстилке (горизонт О) на исследуемых ПП. Цифрами обозначены выделенные зоны загрязнения: 1 – фоновая (ПП № 1–2), 2 – буферная (ПП № 3–4), 3 – импактная (ПП № 5–7). По горизонтали – изучаемые элементы; по вертикали – изменения содержания элементов относительно контрольных (ПП №1) значений (%).

Fig. 2. The pollutants content (S, Cu, Ni) in the forest litter (O horizon) at the studied sample plots. The numbers indicate pollution zones: 1 – control zone (PSP № 1–2), 2 – buffer zone (PSP № 3–4), 3 – impact zone (PSP № 5–7). X-axis – the studied elements; y-axis – change in the element content relative to the control (PSP № 1) level (%).

Таблица 1. Характеристика древостоев *Pinus sylvestris* L. на исследованных пробных площадях (ПП)
Table 1. Characteristics of the studied *P. sylvestris* forest stands

№ ПП Sample plot	Тип леса Forest type	Расстояние от источника загрязнения, км Distance to source of pollution, km	Состав древостоя Tree species composition	Средние Mean		Класс бонитета Site index	Класс санитарного состояния Health class	Полнота абс./отн. Stand density abs./rel.	Густота древостоя, шт./га Number of trees, pcs/ha	Наличный запас, м³/га Growing stock, m³/ha	Географические координаты, UTM (WGS84) Coordinates, UTM (WGS84)
				$D_{1,3}$, см $D_{1,3}$, cm	H , м H , m						
1	Сосняк брусничный Pinetum vacciniosum	81	9.7С 0.3Б	18.6	12.5	V–Va	1.91	20.1/0.67	790	132	35W 0567234 7648097 68,93558N 28,67637E
2	Сосняк брусничный Pinetum vacciniosum	68	10С + Б	18.4	12.1	V–Va	1.18	19.9/0.68	870	117	35W 0579541 7655173 68,99571N 28,98872E
3	Сосняк брусничный Pinetum vacciniosum	48	10С + Б	19.7	12.3	Va	2.05	16.4/0.56	550	81	35W 0590192 7672418 69,14695N 29,27073E
4	Сосняк вороничный Pinetum empetrosom	37	10С + Б	20.8	11.3	V–Va	2.60	15.5/0.55	470	90	35W 0594306 7686138 69,26849N 29,38765E
5	Сосняк воронично-брусничный Pinetum empetroso-vacciniosum	26	9.8С 0.2Б	17.7	9.6	Va	2.27	12.5/0.47	600	65	35W 0603805 7692340 69,32056T 29,63459E
6	Сосняк воронично-брусничный Pinetum empetroso-vacciniosum	21	9.8С 0.2Б	20.3	11.4	V–Va	2.77	13.4/0.47	520	81	35W 0607724 7697060 69,36130N 29,73928E
7	Сосняк воронично-брусничный Pinetum empetroso-vacciniosum	11	8.5С 1.5Б	13.8	9.4	Va	2.63	19.2/0.71	1070	100	35W 0616250 7700754 69,39083N 29,96027E

Примечание: С – *Pinus sylvestris*, Б – *Betula pubescens*, $D_{1,3}$ – диаметр ствола на высоте 1.3 м, H – высота.
Note: С – *Pinus sylvestris*, Б – *Betula pubescens*, $D_{1,3}$ – trunk diameter at 1.3 m height, H – height.

гических факторов (грибных заболеваний и насекомых-вредителей). При отборе кернов определяли наличие стволовой гнили. Исходя из вышеописанных показателей состояния деревьев рассчитывали средний балл санитарного состояния древостоя (табл. 1).

Анализ почвенных образцов выполнен на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”. Содержание S определяли методом Ринькиса (СФ-2000), содержание Ni и Cu — с помощью атомно-абсорбционных спектрофотометров Shimadzu серий AA-6800 и AA-7000. Разложение образцов для определения металлов производили с помощью микроволновой системы разложения (SpeedwavefourBerghof, Германия).

Для анализа изменчивости РП *P. sylvestris* отбирали деревья широкой возрастной группы — 150–250 лет (10–15 деревьев), представленной на всех исследуемых ПП. Отбор кернов осуществляли с южной стороны на высоте 1.3 м. Керна наклеивали на деревянную основу, их поверхность зачищали и полировали. Каждый керн сканировали при разрешении 1600 dpi. В лабораторно-программном комплексе Cdendro/CooRecorder software 9.3 [20] определяли среднее значение ширины годичного кольца с учетом всех изгибов. Графический анализ кернов осуществляли методом перекрестной датировки [21]. Для каждой группы ПП в зависимости от удаленности от ГМК был сформирован график РП на основе усредненных значений ($n = 20–45$). Для оценки реакции деревьев на изменение условий среды были рассчитаны индексы РП, как отношение фактических значений РП к теоретическим, вычисленным по параметрам функции возрастного тренда [22]. Все серии РП и их индексов, а также климатических переменных для минимизации в них высокочастотной компоненты усредняли по 5-летней скользящей средней [23].

Керна размечали по годичным слоям с выделением пяти основных этапов работы ГМК с различным уровнем выбросов загрязняющих веществ: 1) 1937–1970 гг. — начальный этап работы ГМК; 2) 1971–1980 гг. — период переработки руды норильских месторождений с высоким содержанием S; 3) 1981–1987 гг. — снижение выбросов SO₂ в связи с модернизацией производства; 4) 1992–2002 гг. — период отказа от руды норильских месторождений; 5) 2001–2018 гг. — оптимизация производства на современном этапе работы. Данные по объемам выбросов ГМК “Печенганикель” за период 1977–2015 гг. были взяты из доступных литературных источников [3, 18].

Климатические данные, включающие среднемесячные значения температуры приземного слоя воздуха и количества осадков (п. Янискоски,

индекс метеостанции 22101), были получены из специализированного массива климатических данных ВНИИГМИ-МЦД [24]. Гидрологический год принимали как период длительностью с октября предыдущего календарного года по сентябрь текущего, зимний период — с октября предыдущего календарного года по апрель текущего, вегетационный сезон — с мая по сентябрь текущего календарного года. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) рассчитывали по формуле [25]:

$$\text{ГТК} = (\Sigma P / \Sigma_{t10}) \times 10, \quad (1)$$

где ΣP — сумма осадков за период с температурой выше +10 °C; Σ_{t10} — сумма температур выше +10 °C за тот же период.

Сумму эффективных температур (СЭТ) выше +5 °C, необходимых для запуска ростовых процессов *P. sylvestris* [26], рассчитывали по формуле:

$$\Sigma i = 1 \text{ to } 12 (\max (0; Ni (T_{avg} - 5))), \quad (2)$$

где Σi — СЭТ выше +5 °C (градус-день), 1–12 — месяц года, Ni — количество дней в месяце, T_{avg} — среднемесячная температура воздуха (°C).

Статистический анализ проводили в программном пакете R [27] с использованием обобщенных линейных моделей (GLM) и многогранового теста Дункана (*Duncan test*). Данные были проверены на нормальность распределения с помощью теста Шапиро–Уилка (*Shapiro–Wilk’s W test*) и при необходимости преобразованы с помощью трансформации Бокса–Кокса (*Box–Cox transformation*).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика РП *P. sylvestris* в зависимости от расстояния до источника загрязнения

Анализ усредненных хронологий показал различия в динамике РП *P. sylvestris* по градиенту загрязнения (рис. 3). В период 1939–1970 гг. в фоновой зоне отмечен устойчивый нисходящий тренд РП (коэффициент линейной регрессии $A = -0.010$) с сохранением цикличности. В последующие годы наблюдается незначительное снижение РП ($A = -0.001$). Нижние экстремумы РП соответствовали 1929, 1946, 1968, 1987, 2000 и 2013 гг., верхние — 1941, 1960, 1973, 1993, 2003 гг. Среднее значение РП в фоновой зоне за весь период наблюдения (1918–2018 гг.) составило 0.76 мм/год ($SE = \pm 0.02$).

В буферной зоне динамика РП в целом соответствовала таковой в фоновой зоне, за исключением последнего десятилетия исследуемого периода, где их синхронность нарушалась. При этом общая тенденция изменения РП деревьев в буферной зоне, так же как в фоновой, состояла в его снижении. В период с 1939 по 1970 гг. кривая харак-

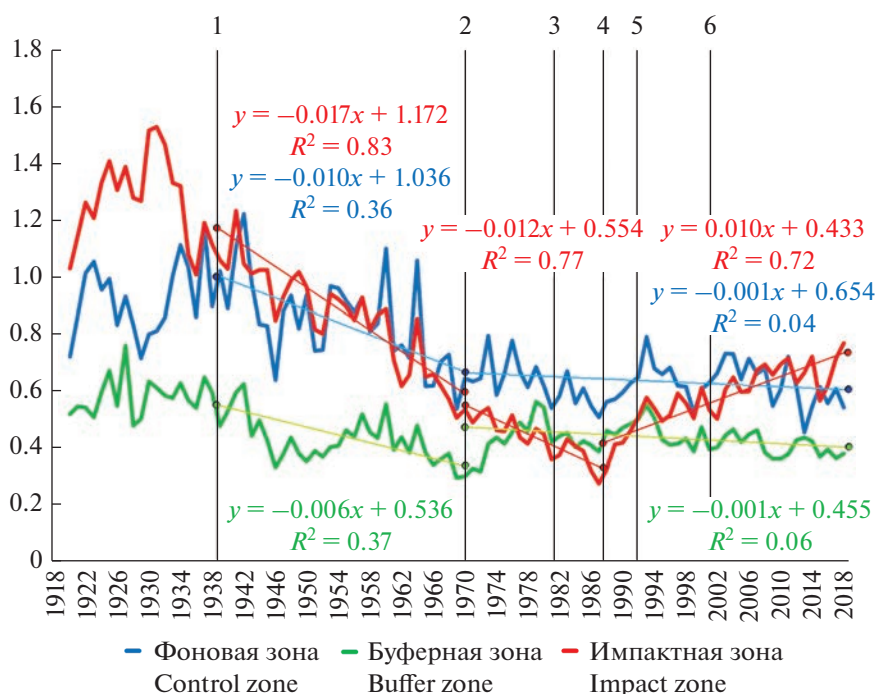


Рис. 3. Динамика радиального прироста *Pinus sylvestris* в период 1918–2018 гг. в зависимости от удаленности от источника загрязнения. Цифрами обозначены основные этапы работы ГМК «Печенганикель»: 1) 1937 г. — начало работы; 2) 1970 г. — начало использования руды норильских месторождений с высоким содержанием серы; 3–4) 1981–1987 гг. — снижение выбросов SO_2 в связи модернизацией производства; 5) 1992–2002 гг. — отказ от использования руды норильских месторождений; 6) 2001–2018 гг. — оптимизация производства на современном этапе работы. По горизонтали — годы; по вертикали — величина радиального прироста, мм.

Fig. 3. Dynamics of *P. sylvestris* radial increment in 1918–2018 depending on the distance from the pollution source. The numbers indicate the main stages of the “Pechenganikel” functioning: 1) 1937 — the beginning of the operation; 2) 1970 — start of Norilsk high-sulfur ore processing; 3–4) 1981–1987 — reduction of SO_2 emissions due to the modernizations; 5) 1992–2002 — cessation of Norilsk ore processing; 6) 2001–2018 — production optimizations at the present stage. X-axis — years; y-axis — the radial increment, mm.

теризовалась несколько меньшим наклоном по сравнению с фоновыми условиями ($A = -0.006$), в то время как в период с 1971 по 2018 гг. она имела аналогичный наклон. Среднее значение РП было ниже фоновое и составило 0.46 мм/год ($SE = \pm 0.01$).

Динамика РП деревьев *P. sylvestris* в импактной зоне в целом схожа с таковой в фоновой зоне до начала наиболее интенсивной техногенной нагрузки в 1970-х гг. Среднее значение РП деревьев в импактной зоне в период 1918–1970 гг. составило 1.01 мм/год ($SE = \pm 0.04$), что на 16% выше контрольных значений в фоновой зоне за аналогичный период. Стоит отметить, что схожая закономерность была отмечена Т.А. Черненьковой [28] для деревьев *P. sylvestris* возрастом до 50 лет, произрастающих вблизи ГМК «Печенганикель», что, вероятно, может указывать не только на подавление, но и на стимуляцию процессов роста [28, 29]. Наши данные, как минимум, не опровергают данное утверждение.

Начиная с 1970 г. в импактной зоне наблюдается более интенсивное, чем в фоновой зоне, сни-

жение РП деревьев сосны ($A = -0.012$) с наименьшим значением в 1987 г. (0.23 мм). Стоит отметить, что снижение РП в период с 1985 по 1987 гг. отмечено у всех исследованных деревьев независимо от удаленности РП от источника загрязнения. В указанный период в фоновой зоне величина РП составила в среднем 0.54 мм/год ($SE = \pm 0.02$), то есть была на 29% ниже, чем за весь исследуемый период. В буферной и импактной зонах, прирост составил 0.42 мм/год ($SE = \pm 0.01$) и 0.33 мм/год ($SE = \pm 0.03$), то есть был ниже на 46 и 58% соответственно.

В последующий период динамика РП в указанных зонах существенно различается. У деревьев в фоновой и буферной зонах наблюдалась стабилизация значений РП. В импактной зоне отмечался устойчивый тренд к увеличению РП *P. sylvestris*. Так, относительно значений в 1985–1987 г. средний РП в период 1988–2018 гг. увеличился на 44%. Таким образом, деревья в импактной зоне, несмотря на наиболее значительное снижение РП в 1987 г. по сравнению с деревьями, растущими в условиях меньшей техногенной на-



Рис. 4. Форма кроны деревьев в импактной зоне указывает на улучшение роста *Pinus sylvestris*.
Fig. 4. The tree crown shape in the impact zone indicates an improvement in the *Pinus sylvestris* growth.

грузки, демонстрируют его стабильное увеличение ($A = 0.010$) в последующие годы. Более того, после 2007 г. значения РП деревьев в импактной зоне оказываются равными и даже превышают таковые деревьев фоновой зоны, несмотря на относительно высокий средний возраст исследованных растений.

В некоторых случаях улучшение роста *P. sylvestris* в импактной зоне можно было установить визуально — в последние годы крона приобрела конусовидную форму, обычно свойственную активно растущим деревьям (рис. 4). Это подтверждает ранее отмеченную способность сосны обыкновенной сохранять и при улучшении условий произрастания реализовывать потенциальную способность к росту в возрасте 180 лет и старше [22]. Особый интерес вызывает тот факт, что эта способность проявилась только у деревьев в зоне сильного загрязнения. Мы пока не можем ответить на вопрос как долго продлится период активного роста *P. sylvestris* после снижения (после 2021 г. — прекращения) воздействия аэротехногенного загрязнения, это является одной из задач, поставленных при создании сети мониторинга.

Наблюдаемые различия в величине РП *P. sylvestris* по градиенту загрязнения, а именно меньшие значения этого параметра в буферной зоне по сравнению с таковыми в импактной зоне под-

нимают вопрос о трудности подбора участков (прежде всего контрольных) для проведения дендрохронологических исследований. Отмеченное несоответствие в большей степени связано с некоторыми различиями возраста исследованных деревьев, произрастающих в различных зонах. Так, в фоновой зоне средний возраст исследованных деревьев составил 167 лет ($SE = \pm 10$), в буферной зоне — 205 лет ($SE = \pm 11$), в импактной — 165 лет ($SE = \pm 7$). Это объясняет не только более низкие значения РП в буферной зоне в начале исследуемого периода, но и более сглаженный тренд его динамики. Кроме того, исследованные участки имеют различную историю пирогенных нарушений, представленных, как правило, низовыми пожарами различной интенсивности и давностью от 110 (ПП № 3, 5, 6) до 200 лет (ПП № 2, 7), что, несомненно, отражается как на возрастной структуре, так и на других характеристиках произрастающих там древостоев.

В настоящее время по мере усиления антропогенной нагрузки становится все сложнее отделить долю естественных изменений РП *P. sylvestris* от тех, которые обусловлены интенсивной деятельностью человека [16]. Так, из видимых нарушений антропогенного характера практически на всех исследованных ПП (за исключением ПП № 1) нами обнаружены следы выборочных рубок интенсивностью от 10 до 20% и давностью около 30–50 лет. Кроме того, в районе п. Раякоски (ПП № 2), расположенном на правом берегу р. Паз, в 1950-х гг. строились три ГЭС [3], что, вероятно, оказывало большое влияние на локальные условия и, как следствие, величину РП произрастающих там деревьев [18]. Более того, хотя сосновые древостои в фоновой зоне расположены на достаточно большом расстоянии от источника загрязнения (более 70 км) и не имеют признаков ослабления, мы не можем полностью исключить влияние на них техногенной нагрузки.

Влияние метеорологических показателей на РП P. sylvestris

В районе исследования отмечена высокая вариация значений температуры воздуха в течение вегетационного сезона: среднемесячные температуры воздуха в п. Янискоски (ПП №1) за период с 1955 по 2019 гг. составили в мае $+4.3^\circ\text{C}$ ($+0.9...+10.6^\circ\text{C}$), июне — $+10.2^\circ\text{C}$ ($+5.9...+14.3^\circ\text{C}$), июле — $+13.7^\circ\text{C}$ ($+9.2...+18.8^\circ\text{C}$), августе — $+11.3^\circ\text{C}$ ($+8.6...+13.6^\circ\text{C}$), сентябре — $+6.4^\circ\text{C}$ ($+2.8...+9.1^\circ\text{C}$). Выявлена определенная цикличность “холодных” и “теплых” лет. Так, среднемесячные температуры в течение вегетационного сезона были ниже средних значений в 1965, 1977, 1981, 1987 и 2008 гг. В эти годы особенно заметно снижение температуры в мае, что, вероятно, сдвинуло сроки начала вегетационного сезона и уменьшило

Таблица 2. Различие (%) среднемесячной температуры воздуха в вегетационный период по годам и средних многолетних значений за период с 1955 по 2018 гг. (п. Янискоски, ПП № 1)**Table 2.** Difference (%) of monthly average temperature over the growing season and long-term averages for the period of 1955–2018 (Yaniskoski, PSP № 1)

Год Year	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Год Year	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September
2018	83.7	–3.8	35.3	11.1	3.3	1986	2.3	27.6	–7.1	–16.4	4.9
2017	–44.2	–17.6	5.3	–2.2	29.9	1985	–58.1	–1.9	3.9	5.8	–21.8
2016	95.3	6.0	13.4	0.4	42.4	1984	74.4	7.9	–15.1	–9.3	22.1
2015	39.5	–3.8	–21.7	13.8	11.1	1983	14.0	–0.9	1.7	–12.9	–4.5
2014	–4.7	–4.8	15.6	16.4	31.5	1982	–14.0	–42.1	3.1	–8.4	–10.8
2013	97.7	40.3	6.1	20.0	4.9	1981	–20.9	–30.3	–2.0	–10.2	–1.4
2012	30.2	–5.8	–10.0	–6.7	31.5	1980	–30.2	25.6	–9.3	–6.7	11.1
2011	25.6	15.8	6.8	–3.1	15.8	1979	0.0	7.9	3.1	4.0	–13.9
2010	48.8	–9.7	5.3	–8.4	26.8	1978	4.7	–1.9	–16.6	–13.8	–21.8
2009	32.6	–9.7	–10.0	11.1	–15.5	1977	–30.2	–15.6	–3.4	–6.7	–39.0
2008	–20.9	–7.8	–7.8	–17.3	–10.8	1976	37.2	–21.5	–2.7	0.4	15.8
2007	0.0	0.1	–8.6	12.9	–1.4	1975	18.6	–21.5	–16.6	–16.4	39.3
2006	34.9	17.8	–5.6	14.7	1.7	1974	–34.9	17.8	14.9	5.8	–51.5
2005	–16.3	9.9	6.8	13.8	11.1	1973	–2.3	19.7	27.3	–7.6	–9.2
2004	14.0	–5.8	25.1	4.9	–3.0	1972	–25.6	38.4	26.6	17.3	–18.6
2003	34.9	–12.7	22.2	0.4	–13.9	1971	–30.2	–10.7	–8.6	0.4	–3.0
2002	27.9	9.9	7.5	2.2	28.3	1970	–7.0	30.5	14.9	15.6	–
2001	–23.3	18.7	3.9	–4.0	11.1	1969	–58.1	–14.6	–	–	–43.7
2000	7.0	–4.8	2.4	1.3	28.3	1968	–79.1	–5.8	–32.7	–10.2	26.8
1999	–65.1	28.6	1.7	–16.4	–15.5	1967	0.0	–0.9	–2.0	17.3	–43.7
1998	–25.6	–26.4	4.6	–11.1	29.9	1966	–34.9	12.9	3.1	–12.9	3.3
1997	–23.3	–1.9	6.8	20.9	–10.8	1965	–76.7	–5.8	–23.9	–12.0	–21.8
1996	–72.1	–16.6	–9.3	19.1	–9.2	1964	2.3	–3.8	6.1	–4.9	37.7
1995	–18.6	14.8	–15.1	–4.0	–17.1	1963	146.5	–21.5	–12.9	1.3	–9.2
1994	–23.3	–7.8	3.1	7.6	–56.2	1962	–25.6	–14.6	–21.7	–18.2	3.3
1993	–4.7	–36.2	1.0	–0.4	37.7	1961	–37.2	25.6	8.3	4.0	9.5
1992	53.5	17.8	–15.9	–15.6	–	1960	86.0	6.0	37.5	10.2	–24.9
1991	–18.6	3.0	–	–	–15.5	1959	37.2	1.1	–2.7	12.0	–4.5
1990	–16.3	–3.8	–2.7	5.8	6.4	1958	–72.1	–1.9	–13.7	9.3	–9.2
1989	55.8	24.6	–1.2	6.7	11.1	1957	–34.9	–15.6	19.2	7.6	–32.7
1988	–4.7	12.9	13.4	–0.4	–4.5	1956	23.3	19.7	–17.3	–20.0	1.7
1987	–14.0	–11.7	–17.3	–23.6	–43.7	1955	–51.2	–31.3	–8.6	12.0	40.8

Примечание. Жирным шрифтом отмечены наиболее значимые экстремумы.

Note. The most significant extremes are given in bold.

его продолжительность. Аномально низкие температуры (снижение на 50 и более % от среднего) в мае наблюдались достаточно часто – в 1955, 1958, 1965, 1969, 1985, 1996 и 1999 гг. (табл. 2). При этом аномально теплая погода в мае отмечена в 1960, 1963, 1984, 1989, 1992, 2010, 2013, 2016 и 2018 гг. (табл. 2). Указанное чередование “теплых” и “холодных” лет в целом соответствует 11-летним

солнечным циклам Швабе–Вольфа [30], что особенно характерно для северных широт [31].

Среднегодовая сумма осадков в районе исследования за период с 1970 по 2019 гг. в среднем составила 515 мм (340...674 мм). Наибольшее количество осадков в течение года отмечено в летний период. Так, средние значения сумм осадков по

Таблица 3. Различие (%) количества осадков по сезонам и средних многолетних значений за период с 1970 по 2019 гг. (п. Янискоски, ПП № 1)**Table 3.** Difference (%) of precipitation by seasons and long-term averages for the period of 1970–2019 (Yaniskoski, PSP № 1)

Годы Years	Осень Autumn	Зима Winter	Весна Spring	Лето Summer	Годы Years	Осень Autumn	Зима Winter	Весна Spring	Лето Summer
2018–2019	–23.1	14.7	–12.3	–13.3	1993–1994	–13.7	29.9	–30.4	–12.8
2017–2018	–19.4	41.8	–3.1	43.7	1992–1993	–19.9	–9.4	19.0	4.1
2016–2017	3.1	62.3	–9.9	14.0	1991–1992	–	–14.8	–31.8	75.8
2015–2016	–33.2	14.0	–15.8	75.4	1990–1991	–49.5	11.0	2.7	–49.7
2014–2015	–32.6	–29.0	60.8	–7.4	1989–1990	–9.8	–	–23.3	–17.8
2013–2014	–1.4	–0.3	1.4	–12.5	1988–1989	4.0	–16.4	–	3.8
2012–2013	57.6	–1.1	–15.3	–45.7	1987–1988	–41.0	–14.7	–5.5	16.3
2011–2012	24.1	–34.9	5.0	2.4	1986–1987	–8.9	–19.4	–9.6	6.7
2010–2011	–9.0	–4.1	9.3	15.4	1985–1986	46.7	–44.7	–21.7	7.1
2009–2010	–18.0	–24.8	24.8	28.8	1984–1985	–36.3	–26.6	–3.9	–49.5
2008–2009	17.8	9.4	15.2	1.4	1983–1984	42.1	8.8	57.2	20.8
2007–2008	4.0	18.6	7.8	–23.7	1982–1983	0.2	–22.0	6.1	–33.8
2006–2007	–4.9	–25.1	30.6	21.2	1981–1982	–14.0	18.1	24.0	14.9
2005–2006	41.9	1.1	6.4	–13.4	1980–1981	13.5	–8.9	10.3	38.5
2004–2005	–1.4	21.4	72.7	–0.7	1979–1980	2.5	5.2	–10.4	–51.4
2003–2004	11.8	–38.6	14.4	13.3	1978–1979	0.0	29.3	–2.7	–34.3
2002–2003	–12.5	9.0	–10.0	4.8	1977–1978	–20.9	–8.5	–26.0	–8.7
2001–2002	–12.1	19.1	–23.1	–8.6	1976–1977	4.0	–10.1	37.3	22.3
2000–2001	–32.8	58.0	0.5	26.6	1975–1976	2.7	38.5	–57.9	–11.7
1999–2000	31.1	–47.6	76.3	–15.9	1974–1975	–13.8	35.5	39.8	3.3
1998–1999	–	–	–16.6	40.8	1973–1974	22.1	13.1	–63.1	22.8
1997–1998	–7.9	14.8	–	–	1972–1973	12.8	–34.9	–22.0	–13.1
1996–1997	1.8	–44.5	–4.4	–37.3	1971–1972	42.1	2.3	11.1	–31.0
1995–1996	52.1	–14.5	–10.0	–20.0	1970–1971	6.5	–	–38.1	–18.3
1994–1995	–15.2	18.6	–13.0	28.7	1969–1970	–	–	–52.9	–21.9

Примечание. Жирным шрифтом отмечены наиболее значимые экстремумы.

Note. The most significant extremes are given in bold.

сезонам составили: зима – 84 мм (44...136 мм), весна – 96 мм (35...169 мм), лето – 202 мм (98...354 мм), осень – 133 мм (67...210 мм) (табл. 3). В течение рассматриваемого периода можно выделить четыре засушливых периода: лето 1980 г., осень 1984–весна 1987 г., лето 1991 г., лето 2013 г. Стоит отметить, что наиболее продолжительный период засухи наблюдался с 1984 г. по 1987 г., а температура воздуха в течение вегетационного сезона в эти годы была ниже средних значений. В 1985 г. на фоне относительно низких температур в мае, июне и сентябре, а также близких к средним значениям в июле и августе, годовое количество осадков составило всего 340 мм, что на 34% ниже среднего значения за весь период наблюдений. Кульминация неблагоприятных погодных условий пришлась на 1987 г., в течение которого на фоне продолжительной засухи отмечалось общее

похолодание. Несмотря на то, что вышеописанные погодные явления не могут не оказывать значительное влияние на рост *P. sylvestris*, результаты корреляционного анализа метеорологических показателей и абсолютных значений и индексов РП не позволяют судить о закономерности связи между этими параметрами (табл. 4).

Анализ связи РП с метеорологическими показателями не дал однозначных результатов, в большинстве случаев она не была статистически значимой. Умеренная корреляционная связь величины РП отмечена с температурами февраля и мая, ГТК, СЭТ, а также суммами осадков октября предыдущего года, июля текущего года и за вегетационный сезон (табл. 5). При этом наибольшие значения коэффициента корреляции (*R*) с метеопараметрами демонстрируют индексы РП. Так,

Таблица 4. Коэффициенты корреляции абсолютных значений (над чертой) и индексов радиального прироста (под чертой) *Pinus sylvestris* и среднемесячных значений температуры воздуха (T_{mean}) и количества осадков (P_{mean})
Table 4. Correlation coefficients of absolute values (in numerator) and radial growth indices (in denominator) of *Pinus sylvestris* and the values of air temperature (T_{mean}) and precipitation (P_{mean})

Показатель/ Parameters	Градиент загрязнения/Pollution gradient		
	фоновая зона control zone	буферная зона buffer zone	импактная зона impact zone
$T_{\text{среднее}}$ (февраль) T_{mean} (february)	0.16/ 0.33	0.30 /0.14	0.03/0.27
$T_{\text{среднее}}$ (май) T_{mean} (may)	0.19/ 0.37	0.21/0.22	0.24/ 0.35
ГТК НТК	0.01/0.18	−0.16/−0.18	0.26/ 0.33
СЭТ SET	0.27/0.11	−0.15/−0.08	0.10/− 0.31
P_{mean} (октябрь) P_{mean} (october)	−0.15/− 0.31	0.04/−0.11	−0.02/−0.22
P_{mean} (июль) P_{mean} (july)	0.29/ 0.46	0.04/0.12	0.17/ 0.40
P_{mean} (вегетационный сезон) P_{mean} (growing season)	0.28/ 0.37	0.04/0.02	0.26/0.27

Примечание: T_{mean} — среднемесячные значения температуры воздуха; P_{mean} — среднемесячные значения количества осадков; ГТК — гидротермический коэффициент Селянинова; СЭТ — сумма эффективных температур. Жирным шрифтом отмечены статистически значимые значения.

Note: T_{mean} — monthly average temperature values; P_{mean} — monthly average precipitation values; НТК — Selyaninov's hydrothermal coefficient; SET — the sum of effective temperatures. Statistically significant values are given in bold.

для температуры мая коэффициент корреляции составил 0.37 и 0.35 в фоновой и импактной зонах соответственно; для количества осадков в июле — 0.46 и 0.40 соответственно. В целом, эти данные подтверждают общие закономерности реакции древесных растений на изменение погодных условий: в первой половине вегетационного сезона величина РП в большей степени зависит от суммы положительных температур, во второй половине — от количества выпадающих осадков [32, 33]. Каких-либо закономерностей изменения связи РП или его индексов с вышеописанными метеорологическими показателями по градиенту загрязнения выявлено не было. Тем не менее, несмотря на относительно слабую корреляционную связь между рассмотренными параметрами, следует признать значительный вклад погодных условий в величину РП в течение вегетационного сезона. Так, по данным Е.А. Ваганова с соавт. [34] положительная температурная детерминация прироста деревьев в субарктической зоне варьирует от 50 до 80% и увеличивается с продвижением на север. Наиболее благоприятная температура воздуха для роста хвойных в северной подзоне тайги находится в диапазоне от +13 до +20 °С. Температура вне данного интервала вызывает уменьшение РП [35]. Весьма вероятно, что понижение средне-

месячной температуры мая приводит к уменьшению продолжительности вегетационного сезона и, таким образом, значительно снижает интенсивность роста *P. sylvestris* в условиях Крайнего Севера и без того достаточно суровых. В ряде работ отмечается, что с продвижением на север роль осадков в сравнении с термическим режимом становится менее существенной [35, 36]. В исследованиях Д.С. Мюльгаузен и Л.А. Панкратова [18, 37], изучающих РП *P. sylvestris* в сходных условиях на градиенте загрязнения, указано на наличие значимой связи РП как с температурой воздуха, так и с количеством осадков. При этом в импактной зоне зависимость РП от метеорологических показателей несколько возросла, что отмечалось ранее и в других работах [14, 38]. В то же время нельзя исключать нарушение или искажение связи между величиной РП и климатическими показателями под влиянием техногенного загрязнения [13, 39].

Полученные нами результаты позволяют предположить, что наиболее значимое влияние на величину РП *P. sylvestris* оказывают неблагоприятные погодные явления в течение вегетационного сезона, в частности положительные и отрицательные температурные аномалии, а также малое количество осадков. Тем не менее, причин-

Таблица 5. Коэффициенты корреляции абсолютных значений (над чертой) и индексов радиального прироста (под чертой) *Pinus sylvestris* с уровнем выбросов основных поллютантов

Table 5. Correlation coefficients of absolute values (in numerator) and radial growth indices (in denominator) of *P. sylvestris* and the emission levels of the main pollutants

Градиент загрязнения Pollution gradient	SO ₂ , тыс. т/год SO ₂ , thousand t/year	Cu, т/год Cu, t/year	Ni, т/год Ni, t/year
Фоновая зона Control zone	–0.16/–0.11	–0.10/–0.18	–0.10/–0.23
Буферная зона Buffer zone	0.34/–0.01	0.38/–0.04	0.31/–0.01
Импактная зона Impact zone	–0.87/–0.23	–0.71/–0.30	–0.61/–0.33

Примечание. Жирным шрифтом отмечены статистически значимые значения.

Note. Statistically significant values are given in bold.

но-следственная связь между величиной РП и метеорологическими показателями может искажаться под влиянием техногенного загрязнения. Хотя нами не установлено значимых изменений реакции РП на погодные условия по градиенту загрязнения, это не исключает большую чувствительность к неблагоприятным климатическим аномалиям у деревьев, находящихся в условиях длительной техногенной нагрузки. Как показывают наши наблюдения, наиболее значительное снижение РП отмечено у деревьев *P. sylvestris* в импактной зоне в период продолжительной засухи и общего похолодания в 1985–1987 гг. Таким образом, совокупное действие неблагоприятных погодных явлений, вероятно, является одной из основных причин значительного снижения РП в импактной зоне, где деревья и без того значительно ослаблены многолетним аэротехногенным загрязнением.

Влияние режима выбросов ГМК «Печенганикель» на динамику РП *P. sylvestris*

Сопоставление динамики РП *P. sylvestris* с хронологией работы ГМК «Печенганикель» позволяет предположить, что снижение рассматриваемого показателя в период 1937–1970 гг. связано в большей степени с естественными возрастными причинами и лишь частично с постепенным увеличением техногенной нагрузки. Максимальная эмиссия загрязняющих веществ приходилась на 1970-е гг., хотя из графика динамики РП (рис. 3) видно, что еще в течение последующего десятилетия сохранялась отрицательная динамика РП, в том числе из-за неблагоприятных погодных явлений в середине 1980-х гг. Это позволяет предположить существование определенной инертности влияния техногенного загрязнения на древесные растения — как в отношении негативного воздействия на них, так и их положительного отклика на снижение эмиссионной нагрузки. Наши данные

подтверждают тезис о том, что в условиях длительной техногенной нагрузки *P. sylvestris* более чувствительна к климатическим экстремумам, чем в фоновой зоне, что связано с общим ослаблением как отдельных растений, так и древостоя в целом.

Уровень выбросов загрязняющих веществ — SO₂, Cu и Ni в течение последних десятилетий работы ГМК постепенно снижался [3, 18]. По результатам корреляционного анализа установлена статистически значимая связь между уровнем выбросов поллютантов и РП *P. sylvestris* и его индексом в импактной зоне: в зависимости от загрязнителя *R* корреляции варьировал от –0.61 до –0.87 (табл. 5). Схожие закономерности получены и другими исследователями [3, 18, 40]. В своем исследовании Д.С. Мюльгаузен и Л.А. Панкратова [18] не отмечали каких-либо различий в коэффициентах корреляции между вышеописанными показателями ни по розе ветров, ни по изменению расстояния от источника загрязнения, то есть деревья в фоновой зоне тоже реагировали на изменение уровня выбросов ГМК. Полученные нами данные указывают на обратное — наиболее значимое влияние уровня выбросов поллютантов на РП *P. sylvestris* наблюдается только в импактной зоне (табл. 5).

Анализ данных с использованием обобщенных генерализированных моделей (GLM) подтвердил статистически значимое влияние уровня выбросов SO₂, Cu и Ni на РП деревьев *P. sylvestris*, расположенных только в импактной зоне (табл. 6, рис. 5). Отмеченное увеличение РП в импактной зоне в начале 1990-х гг. с большой вероятностью связано со снижением выбросов SO₂ и тяжелых металлов в связи со спадом производства, накопительным эффектом модификаций производственного процесса и очистных сооружений, а также отказом от использования руды норильского происхождения. Несмотря на относительно высокий возраст исследуемых деревьев, мы мо-

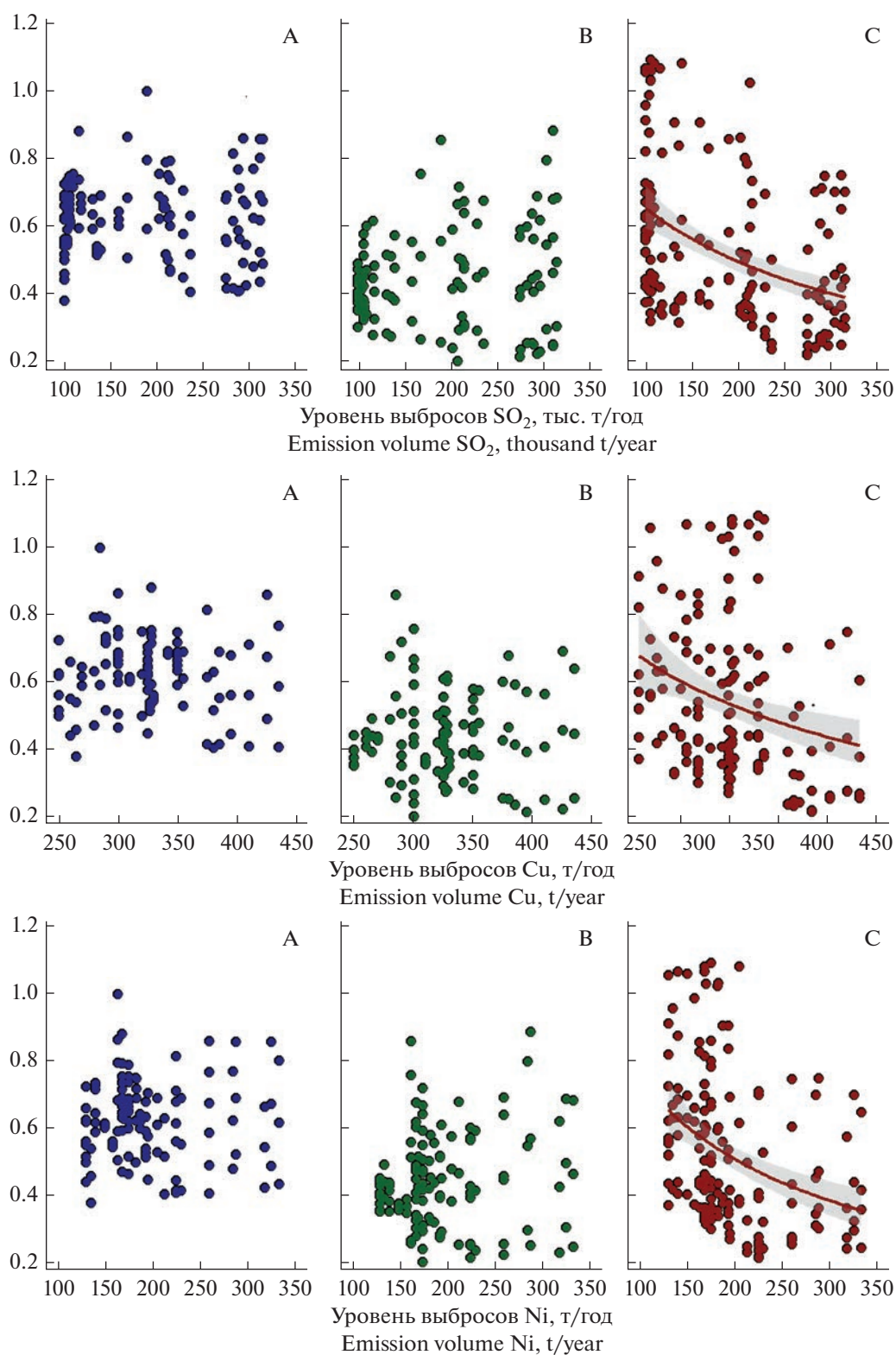


Рис. 5. Зависимость величины радиального прироста *Pinus sylvestris* от объемов выбросов основных загрязнителей (SO_2 , Cu, Ni) в фоновой (А), буферной (В) и импактной (С) зонах.

По горизонтали — объем выбросов, т/год (для SO_2 — тыс. т/год); по вертикали — величина радиального прироста, мм.
Fig. 5. Dependence of *Pinus sylvestris* radial increment of on the volume of the main pollutants emission (SO_2 , Cu, Ni) in the control (A), buffer (B), and impact (C) zones. X-axis — emission volume, t/year (for SO_2 — thousand t/year); y-axis — the radial increment, mm.

Таблица 6. Статистические параметры оценки влияния выбросов основных загрязнителей на радиальный прирост *Pinus sylvestris* в фоновой, буферной и импактной зонах. Используемая модель: обобщенные линейные модели (GLM), гамма распределение (*Gamma distribution*), обратная функция связи (*inverse link function*)
Table 6. Statistical parameters of the effect of pollutant emissions on the radial increment of *P. sylvestris* in the control, buffer and impact zones. Applied model: GLM, Gamma distribution, inverse link function

Загрязнители Pollutants	Параметры уравнений Parameters of the equations					Параметры модели Parameters of the model	
	Коэффициенты Coefficients	Значение Value	SE	t	p	R ²	p
SO ₂	Intercept	1.5569	0.1050	14.87	<0.001	0.17	<0.001
	Фоновая зона Control zone	0.0001	0.0001	0.44	0.662		
	Буферная зона Buffer zone	−0.0011	0.0007	−1.54	0.125		
	Импактная зона Impact zone	0.0034	0.0006	5.27	<0.001		
	Intercept	1.5569	0.1841	8.46	<0.001	0.15	<0.001
Cu	Фоновая зона Control zone	0.0002	0.0009	0.25	0.806		
	Буферная зона Buffer zone	−0.0019	0.0015	−1.23	0.219		
	Импактная зона Impact zone	0.0025	0.0007	3.58	<0.001		
	Intercept	1.5750	0.0022	7.18	<0.001	0.12	<0.001
Ni	Фоновая зона Control zone	0.0001	0.0006	0.12	0.906		
	Буферная зона Buffer zone	−0.0011	0.0010	−1.05	<0.294		
	Импактная зона Impact zone	0.0034	0.0009	3.58	<0.001		

Примечание. SE – стандартная ошибка, t – критерий Стьюдента, p – уровень значимости, R² – коэффициент детерминации. Жирным шрифтом отмечены статистически значимые значения.
Note. SE – standard error, t – Student’s test, p – level of significance, R² – coefficient of determination. Statistically significant values are given in bold.

жем констатировать наличие положительного влияния этих факторов на рост *P. sylvestris* и состояние исследуемых древостоев в импактной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным фактором резкого снижения РП *P. sylvestris* в середине 1980-х гг. в сосновых древостоях вблизи ГМК “Печенганикель”, помимо непосредственного негативного влияния техногенного загрязнения, следует считать комплекс неблагоприятных метеорологических явлений – снижения среднемесячной температуры воздуха в течение вегетационного сезона и малого количества осадков в течение года в период с 1985 по 1987 гг. Начиная с 1990-х гг. наблюдается статистически значимое увеличение РП деревьев *P. sylvestris*, произрастающих в импактной зоне, что объясняется их положительным откликом на снижение аэротехногенного загрязнения. В течение последующих нескольких лет значения РП деревьев в импакт-

ной зоне достигли и даже несколько превосходили таковые у деревьев в фоновой зоне, несмотря на их относительно высокий возраст. Этот факт демонстрирует высокую адаптационную способность *P. sylvestris*, произрастающей на северном пределе распространения сосновых лесов. Тем не менее, продолжительность положительной реакции исследуемой древесной породы на снижение выбросов загрязнителей и механизмы активизации ростовых процессов в сложившихся условиях требуют дальнейших исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН (Институт леса), заповедника “Пасвик” при поддержке АО “Кольская ГМК” и НОЦ “Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукина Н.В., Никонов В.В. 1996. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Т. 2. Апатиты. 192 с.
2. Ярмишко В.Т., Игнатъева О.В., Евдокимова А.С. 2019. Некоторые аспекты мониторинга сосновых лесов в экстремальных условиях Кольского Севера. — Самарский научный вестник. Т. 8, 2 (27): 81–86. <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-12115>
3. Ананьева С.И., Белова Е.А., Булычев А.Г., Булычева И.А., Заколдаева А.А., Зацаринный И.В., Исаева Л.Г., Косякова А.Ю., Ларькова М.С., Лукина Н.В., Мерищев А.В., Поликарпова Н.В., Трущицина О.С., Собчук И.С., Сухарева Т.А., Хлебосолова О.А. 2012. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки “Никель” и “Заполярный”): влияние на наземные экосистемы. Рязань. 92 с.
4. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е., Уразова А.Ф. 2009. Исследование биологической продуктивности насаждений по градиентам аэрозатражений: методический анализ и перспективы. — Вестн. МагГТУ. 2(6): 67–76.
5. Ярмишко В.Т. 1997. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб. 210 с.
6. Козлова Л.Н., Онучин А.А. 1992. Влияние загрязнения на транспирацию и структуру хвои сосняков Назаровской котловины. — Анатомия, физиология и экология лесной растительности. 1: 67–69.
7. Кайбияйнен Л.К., Болондинский В.К. 1995. Фотосинтетическая фиксация CO₂ и биомасса лесных ценозов. К методике оценки стока CO₂. — Физиология растений. 42 (1): 138–143.
8. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. 2000. Роль и структура годичных колец хвойных. Новосибирск. 232 с.
9. Полякова Г.Р., Уразгильдин Р.В. 2013. Влияние техногенного загрязнения на дендрохронологические параметры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). — Вестн. ЧелГУ. 7 (298): 191–194.
10. Румянцев Д.Е. 2010. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М. 109 с.
11. Кирдянов А.В., Ваганов Е.А. 2006. Разделение климатического сигнала, содержащегося в изменчивости ширины и плотности годичных колец древесины. — Лесоведение. 6: 71–75.
12. Шекалев Р.В., Тарханов С.Н. 2006. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург. 127 с.
13. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. 2012. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург. 366 с.
14. Аминова К.З., Уразгильдин Р.В., Кулагин А.Ю. 2014. Прирост стволовой древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях техногенного загрязнения. — Биосфера. 6(4): 388–399. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v6i4.184>
15. Ваганов Е.А., Скомаркова М.В., Шульце Э.-Д., Линке П. 2007. Вариации структуры и изотопного состава годичных колец ели и сосны в горах Северной Италии. — Лесоведение. 3: 32–39.
16. Ярмишко В.Т., Борисова О.В., Ярмишко М.А. 2009. Многолетняя динамика состояния южнотаежных лесов в условиях промышленного атмосферного загрязнения. — В кн.: Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб. С. 120–156.
17. Тишин Д.В. 2011. Дендрозкология. Методика древесно-кольцевого анализа. Казань. 33 с.
18. Мюльгаузен Д.С., Панкратова Л.А. 2016. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском Севере. — Вестн. Санкт-Петербургского университета. 7 (4): 124–133.
19. Алексеев В.А. 1989. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. — Лесоведение. 4: 51–57.
20. Cybis Dendrochronology. Cybis Elektronik & Data AB. Saltsjöbaden, Sweden. 2022. <https://www.cybis.se>.
21. Шиятов С.Г. 1986. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М. 136 с.
22. Демаков Ю.П., Андреев Н.В. 2014. Закономерности радиального прироста деревьев сосны в приозерных биотопах национального парка “Марий Чодра”. — Эко-потенциал. 3(7): 48–58.
23. Николаева С.А., Савчук Д.А. 2009. Комплексный подход и методика реконструкции роста и развития деревьев и лесных сообществ. — Вестн. Томского ГУ. 2(6): 111–125.
24. Специализированный массив климатических данных ВНИИГМИ-МЦД. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>
25. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. 2006. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М. 508 с.
26. Лебеденко Л.А. 1978. Динамика размножения камбиальных клеток у сосны и ели. — В сб.: Восстановление леса на северо-западе РСФСР: сб. тр. ЛенНИИЛХ. Л. С. 101–111.
27. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. 2022. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
28. Черненко Т.В. 2002. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. 191 с.
29. Кайбияйнен Л.К., Сафронова Г.И., Болондинский В.К. 1998. Влияние токсичных поллютантов на дыхание хвои и побегов сосны обыкновенной. — Экология. 1: 23–27.
30. Витинский Ю.И., Копецкий М., Ку克林 Г.В. 1986. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М. 296 с.

31. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. 2013. Дендрохронология. Воронеж. 140 с.
32. Тимофеев В.П. 1972. Продолжительность и интенсивность сезонного роста деревьев как показатели продуктивности насаждений. — В сб.: Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск. С. 111–123.
33. Антонова Г.Ф. 1999. Рост клеток хвойных. Новосибирск. 232 с.
34. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. 1996 Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск. 246 с.
35. Барзут О.С., Старицын В.В. 2012. О влиянии климатических факторов на радиальный прирост можжевельника обыкновенного. — В сб.: Экологические проблемы Арктики и северных территорий. Архангельск. 15: 6–11.
36. Барзут В.М. 1985. Анализ многолетней и погодичной динамики прироста хвойных в Беломорье: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту. 27 с.
37. Мюльгаузен Д.С., Панкратова Л.А. 2018. Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе деятельности ГМК “Печенганикель”. — Вестн. ВГУ. 2: 87–95.
38. Хлебосолов Е.И., Макарова О.А., Хлебосолова О.А., Поликарпова Н.В., Зацаринный И.В. 2007. Птицы Пасвика. Рязань. 175 с.
39. Кучеров С.Е., Мулдашев А.А. 2003. Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината. — Лесоведение. 2: 43–49.
40. Щекалёв Р.В., Тарханов С.Н., Прожерина Н.В., Клочихин А.Н. 2004. Продуктивность сосновых древостоев устья Северной Двины в условиях длительного аэротехногенного воздействия. — В сб.: Проблемы физиологии растений Севера. Мат. Межд. конф. Петрозаводск. С. 212.

Dependence of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) Radial Growth on Meteorological Conditions and Aerotechnogenic Pollution (Data on the North-West of the Murmansk Region)

I. V. Romashkin^{a, *}, N. V. Genikova^a, A. M. Kryshen^a, S. A. Moshnikov^a, N. V. Polikarpova^b

^aForest Research Institute of the Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

^bPasvik State Nature Reserve, Nikel, Russia

*e-mail: romashkin@krc.karelia.ru

Abstract—We studied the influence of meteorological factors and aerotechnogenic pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) depending on the distance from the mining and metallurgical combine “Pechenganickel” (Nikel, Murmansk region). According to the content of the main polluting elements (S, Ni and Cu) in the forest litter, we identified three zones of the pollution gradient — control, buffer and impact zones. We found a significant weakening of pine stands in the impact zone due to the integrated effect of — long-term exposure to pollution (since the 1970s) and unfavorable weather events in the mid-1980s. As the emission decreased over the period 1988–2018, we observed the significant increase (up to 44%) in the radial increment of *P. sylvestris* in the impact zone and no meaningful changes in control and buffer ones. Further, the radial increment of trees in the impact zone reached and even exceeded the values in control conditions, despite the relatively high age of the studied trees. This indicated the high adaptive capacity of *P. sylvestris*.

Keywords: *Pinus sylvestris*, Scots pine, radial increment, technogenic pollution, climate, monitoring

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was funded by the state research assignment of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Forest Institute) and the Pasvik Nature Reserve with the support of the JSC Kola Mining and Metallurgical Company and the Scientific and Educational Centre “Russian Arctic: New Materials, Technologies and Research Methods”.

REFERENCES

1. Lukina N.V., Nikonov V.V. 1996. [Biogeochemical cycles in the northern forests under aerotechnogenic pollution]. Part 2. Apatity. 192 p. (In Russian)
2. Yarmishko V.T., Ignateva O.V., Evdokimova A.S. 2019. Some aspects of Scots pine forests monitoring in extreme conditions of the Kola North. — Samara Journal of Science. 8(2): 81–86. <https://doi.org/10.17816/snv201982115> (In Russian)
3. Ananyeva S.I., Belova E.A., Bulychev A.G., Bulycheva I.A., Zakoldayeva A.A., Zatsarinny I.V., Isaeva L.G., Kosyakova A.Yu., Larkova M.S., Lukina N.V., Merschiev A.V., Polikarpova N.V., Trushchitsina O.S., Sobchuk I.S., Sukhareva T.A., Khlebosolova O.A. 2012. [Kola Mining and Metallurgical Company (industrial sites Nickel and Zapolyarny): impact on terrestrial ecosystems]. Ryazan. 92 p. (In Russian)

4. Usolstev V.A., Vorobeichik E.L., Khantemirova E.V., Bergman I.E., Urazova A.F. 2009. Studying forest biological productivity along industrial pollution gradients: methodical analysis and outlooks. — Vestnik MarGTU. Ser. "Forest. Ecology. Nature Management". 2: 67–76. <https://journals.volgatch.net/forest/article/view/368> (In Russian)
5. Yarmishko V.T. 1997. [Scots pine and atmospheric pollution in the European North]. Saint-Petersburg. 210 p. (In Russian)
6. Kozlova L.N., Onuchin A.A. 1992. [Influence of pollution on transpiration and structure of pine needles in the Nazarovskaya Hollow]. — In: [Anatomy, physiology and ecology of the forest vegetation: conference proceedings]. P. 67–69. (In Russian)
7. Kaibiyainen L.K., Bolondinsky V.K. 1995. [Photosynthetic CO₂ fixation and biomass of the arboreal cenosis: method of estimating of CO₂ sequestering]. — Fiziologiya rastenii. 42(1): 138–143. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21837990> (In Russian)
8. Vaganov E.A., Shashkin A.V. 2000. [Growth and tree ring structure of conifers]. Novosibirsk. 232 p. (In Russian)
9. Polyakova G.R., Urazgildin R.V. 2013. [Influence of technogenic pollution on dendrochronological parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. — Bulletin of Chelyabinsk State University. 7(298): 191–194. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18958162> (In Russian)
10. Rumyantsev D.E. 2010. [History and methodology of silvicultural dendrochronology]. Moscow. 109 p. <https://mf.bmstu.ru/info/science/dendro/books/01.pdf> (In Russian)
11. Kirdyanov A.B., Vaganov E.A. 2006. [Separation of the climatic signal reflected in variable width and density of annual tree rings]. — Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 6: 71–75. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9309592> (In Russian)
12. Shchekalev R.V., Tarkhanov S.N. 2006. [Radial growth and quality of Scots pine wood under atmospheric pollution]. Yekaterinburg. 127 p. (In Russian)
13. Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E. 2012. [Biological productivity of Ural forests under air pollution: investigation of system interrelations and patterns]. Ekaterinburg. 366 p. (In Russian)
14. Amineva K.Z., Urazgildin R.V., Kulagin A.Yu. 2014. Radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stem wood under anthropogenic pollution. — Biosfera. 6(4): 388–399. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v6i4.184> (In Russian)
15. Vaganov E.A., Skomarkova M.V., Schulze E.-D., Linke P. 2007. Variability of the structure and isotope composition of tree rings in *Pinus cembra* and *Picea abies* in the mountains of Northern Italy]. — Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 3: 32–39. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9510703> (In Russian)
16. Yarmishko V.T., Borisova O.V., Yarmishko M.A. 2009. [Long-term dynamics of the state of southern taiga forests under conditions of industrial atmospheric pollution]. — In: [Dynamics of forest communities in North-West Russia]. Saint-Petersburg. P. 120–156. (In Russian)
17. Tishin D.V. 2011. [Dendroecology (the tree ring analysis techniques)]. Kazan. 33 p. (In Russian)
18. Mulgauzen D.S., Pankratova L.A. 2016. [The influence of aerotechnogenic pollution on Scots pine's radial growth in Kola North]. — Vestnik SPbSU. Earth Sciences. 7(4): 124–133. <https://escjournal.spbu.ru/article/view/1827/2493> (In Russian)
19. Alekseev V.A. 1989. Diagnostics of tree vitality and stand condition. — Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 4: 51–57. (In Russian)
20. Cybis Dendrochronology. Cybis Elektronik & Data AB. <https://www.cybis.se>
21. Shiyatov S.G. 1986. [Tree line dendrochronology in the Urals]. Moscow. 136 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22426951> (In Russian)
22. Demakov Yu.P., Andreev N.V. 2014. [Patterns of radial growth of pine trees in the lakeside biotopes of the Mariy Chodra National Park]. — Eko-potencial. 3(7): 48–58. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3550> (In Russian)
23. Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. 2009. [Comprehensive approach and methods for the growth reconstruction and development of trees and forest community]. — Vestnik Tomskogo GU. Biologiya (Tomsk State University Journal of Biology). 2(6): 111–125. http://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=746&article_id=17408 (In Russian)
24. Specialized Datasets for Climatic Studies. 2000-2011-20018-2022. RIHMI-WDC. <http://meteo.ru/data>
25. Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., Chernyakov B.A., Sirotenko O.D. 2006. [Bioclimatic potential of Russia: theory and practice]. Moscow. 508 p. (In Russian)
26. Lebedenko L.A. 1978. [Dynamics of the cambial cells reproduction in pine and spruce]. — In: [Forest restoration in the northwest of the RSFSR]. Leningrad. P. 101–111. (In Russian)
27. The R Project for Statistical Computing. The R Foundation. <https://www.R-project.org/>
28. Chernenkova T.V. 2002. [Response of forest vegetation to industrial pollution]. Moscow. 191 p. (In Russian)
29. Kaibiyainen L.K., Safronova G.I., Bolondinskiy. 1998. Effect of toxic pollutants on the respiration of needles and shoots in Scots pine. — Russ. J. Ecol. 29(1): 20–23.
30. Vitinsky Yu.I., Kopetskiy M., Kuklin G.V. 1986. [Statistics of sunspot activity]. Moscow. 296 p. (In Russian)
31. Matveev S.M., Rumyantsev D.E. 2013. [Dendrochronology]. Voronezh. 140 p. <https://mf.bmstu.ru/info/science/dendro/books/02.pdf>

32. *Timofeev V.P.* 1972. [Seasonal tree growth duration and intensity as indicators of plantation productivity]. — In: [Nutrition of woody plants and forest productivity enhancement]. Petrozavodsk. P. 111–123. (In Russian)
33. *Antonova G.F.* 1999. [Cellular growth in conifers]. Novosibirsk. 232 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_61101 (In Russian)
34. *Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S.* 1996. Dendroclimatic study in Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk. 246 p. https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/1179_1996_VaganovEtAl.pdf (In Russian)
35. *Barzut O.S., Staritsyn V.V.* 2012. [On the influence of climatic factors on the radial growth of common juniper]. — In: [Environmental problems of the Arctic and northern territories]. Arhangel'sk. 15: 6–11. <https://narfu.ru/lti/departments/kezl/Vypusk%2015.pdf> (In Russian)
36. *Barzut V.M.* 1985. [Analysis of long-term and annual dynamics of coniferous growth in the White Sea region: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. Tartu. 27 p. (In Russian)
37. *Mulgauzen D.S., Pankratova L.A.* 2018. [Radial growth of Scots pine in the area affected by mining and metallurgical combine “Pechenganickel”]. — Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2: 87–95. <https://journals.vsu.ru/geo/article/view/2217> (In Russian)
38. *Khlebosolov E.I., Makarova O.A., Khlebosolova O.A., Polikarpova N.V., Zatsarinniy I.V.* 2007. [Birds of the Pasvik Nature Reserve]. Ryazan. 175 p. <http://oopt.aari.ru/ref/1004> (In Russian)
39. *Kuchеров S.E., Muldashev A.A.* 2003. [Radial increment of Scots pine in the vicinity of the Karabash copper smelter]. — Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 2: 43–49. <http://lesovedenie.ru/index.php/forestry/article/view/37> (In Russian)
40. *Shechekalyov R.V., Tarkhanov S.N., Prozherina N.V., Klochikhin A.N.* 2004. [Productivity of pine stands at the mouth of the Northern Dvina under conditions of long-term aerotechnogenic impact]. — In: [Problems of the physiology of the northern plants: Proc. of the International scientific conference]. Petrozavodsk. P. 212. (In Russian)

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПУСТЫННО-ПАСТБИЩНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ)

© 2023 г. Л. П. Рыбашлыкова¹, *, С. Ю. Турко¹

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
г. Волгоград, Россия

*e-mail: ludda4ka@mail.ru

Поступила в редакцию 22.12.2022 г.

После доработки 16.01.2023 г.

Принята к публикации 27.02.2023 г.

В статье приводятся результаты мониторинга динамики продукционного процесса в пустынно-пастбищных фитоценозах за 8-летний период (2014–2021 гг.). Показано современное состояние растительного покрова на Черноземельской песчаной равнине (северо-запад Прикаспийской низменности, территория Республики Калмыкия) после закрепления лесной мелиорацией комплексов мелкобарханных песков, проведенного в 1970–90-е гг. Очаги дефляции различались по степени трансформации почвенного и растительного покрова и способам восстановления растительного покрова. В настоящее время на месте ранее выявленных очагов дефляции идет процесс восстановительной сукцессии. Рассмотрены особенности видового состава и структуры пустынно-пастбищных фитоценозов. Проанализирована связь продуктивности модельных травянисто-кустарниковых пастбищ (кустарник *Callygonum aphyllum*, полукустарник *Krascheninnikovia ceratoides*, травянистые виды *Stipa lessingiana*, *Artemisia lerchiana*, *Alyssum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Poa bulbosa*) с осадками теплого и холодного периодов в течение вегетации. Пожары и антропогенное воздействие замедляют ход сукцессионных процессов. Природно-ландшафтное окружение современных очагов дефляции на пастбищах Северо-Западного Прикаспия является важным фактором, влияющим на направление сукцессии.

Ключевые слова: пустынно-пастбищные фитоценозы, очаги дефляции, восстановительные сукцессии, продуктивность, антропогенное влияние, Прикаспийская низменность

DOI: 10.31857/S0033994623010090, **EDN:** YASSYN

На северо-западе Прикаспийской низменности (Республика Калмыкия) фитоценозы естественных пастбищ являются одним из основных элементов экосистем, определяющих состояние окружающей среды [1–3]. Аридные пастбища, на долю которых приходится 50–75% природных кормовых угодий страны, являются уникальной сельскохозяйственной территорией Российской Федерации [4, 5]. Прогнозные оценки развития процессов деградации (опустынивание) на фоне аридизации климата позволяют говорить о серьезных экологических проблемах [6–9]. К настоящему времени произошли заметные изменения растительного покрова: уменьшилось количество видов, изменился видовой состав, снизились высота, проективное покрытие, продуктивность (с 0.4–0.6 до 0.05–0.15 т/га). Два взаимосвязанных фактора – интенсивное использование и особенности естественного биоклиматического потенциала – привели к нарушению стабильности и де-

струкции пастбищных экосистем пустынной зоны [10–13].

Очень важно не допустить деградации пастбищ, поскольку от степени антропогенного влияния на них зависит направленность вторичных восстановительных сукцессий и существование многих видов растений и животных. Исследования состояния растительности проводятся с целью нормирования использования природных кормовых ресурсов [14, 15]. Видовой состав сообществ и структура ценопопуляций видов находятся в непрерывной динамике, вызванной изменениями окружающей среды [16–18]. В меняющихся климатических условиях, поддержание экологического равновесия, продуктивного потенциала пастбищных экосистем и восстановление их биоразнообразия, является фундаментальной задачей, определяющей необходимость последовательной оптимизации режимов использования функционирующих угодий и ускоренного восстановления их дегра-

Рис. 1. Географическое положение модельных травянисто-кустарниковых пастбищ в Северо-Западном Прикаспии (SasPlanet): 1. Сообщества на легкосуглинистых почвах. Белопопынные (*Artemisia lerchiana*), ромашниково-прутняково-белопопынные (*A. lerchiana*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium*); 2. Сообщества на суглинистых сильнозасоленных почвах. Чернопопынные (*Artemisia pauciflora*) в комплексе с белопопынно-чернопопынными, солянково-чернопопынными (*Artemisia pauciflora*, *Climacopora brachiata*); 3. Сообщества на супесчаных и песчаных почвах. Злаково-белопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) на бурых супесчаных почвах в комплексе с белопопынными, злаково-попынными (*Artemisia austriaca*, *Elytrigia repens*, *Festuca valesiaca*) на лугово-бурых почвах; 4. Псаммофитные на закрепленных песках. Мятликово-белопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*). Кияково-белопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Leymus racemosus*) на грядово-бугристых песках.

Fig. 1. Location of the model grass-shrub rangelands in the North-Western Caspian region (SasPlanet). 1. Communities on light loamy soils. Artemisia complexes (*Artemisia lerchiana*), grass—artemisia complexes (*A. lerchiana*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium*); 2. Communities on highly saline loamy soils. Artemisia pauciflora complexes (*Artemisia pauciflora*) in combination with *Artemisia pauciflora*, *Climacopora brachiata*; 3. Communities on sandy loam soils. Grass—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) on brown sandy loam soils in combination with *Artemisia austriaca*, *Elytrigia repens*, *Festuca valesiaca* on meadow-brown soils; 4. Psammophytic communities on fixed sands. Poa—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*). Leymus—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Leymus racemosus*) on ridge hilly sands.

дированной части [19–24]. Исследование растительных сообществ, находящихся под антропогенным воздействием, позволяет прогнозировать их развитие, трансформацию и решать задачи, направленные на оптимизацию видового состава растительного покрова [25, 26]. Несмотря на сокращения поголовья скота (засуха—бескормица) фактическая нагрузка на пастбищные угодья Калмыкии остается высокой (в среднем по региону 0.68 гол./га), превышение оптимальной нагрузки составляет 38.8%.

Целью данной работы явилось изучение динамики пустынно-пастбищных фитоценозов для выявления механизмов их трансформации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в северо-западной части Прикаспийской равнины (юго-запад Республики Калмыкия) в местах бывших крупных очагов дефляции (выдувания песка). Согласно ландшафтно-географическому районированию Калмыкии, исследуемая территория относится к Черноземельской низменности (рис. 1), на которой растительность представлена злаково-белопопынными сообществами [27].

Климат районов исследований континентальный, резко засушливый, жаркий. Сухое и жаркое лето, низкая относительная влажность воздуха, преимущественно ливневый характер выпадения летних осадков, неустойчивый и малой мощности снежный покров являются основными чертами климата этой зоны. Радиационный индекс сухости — 3.0–3.5, среднее многолетнее годовое количество осадков — 255 мм.

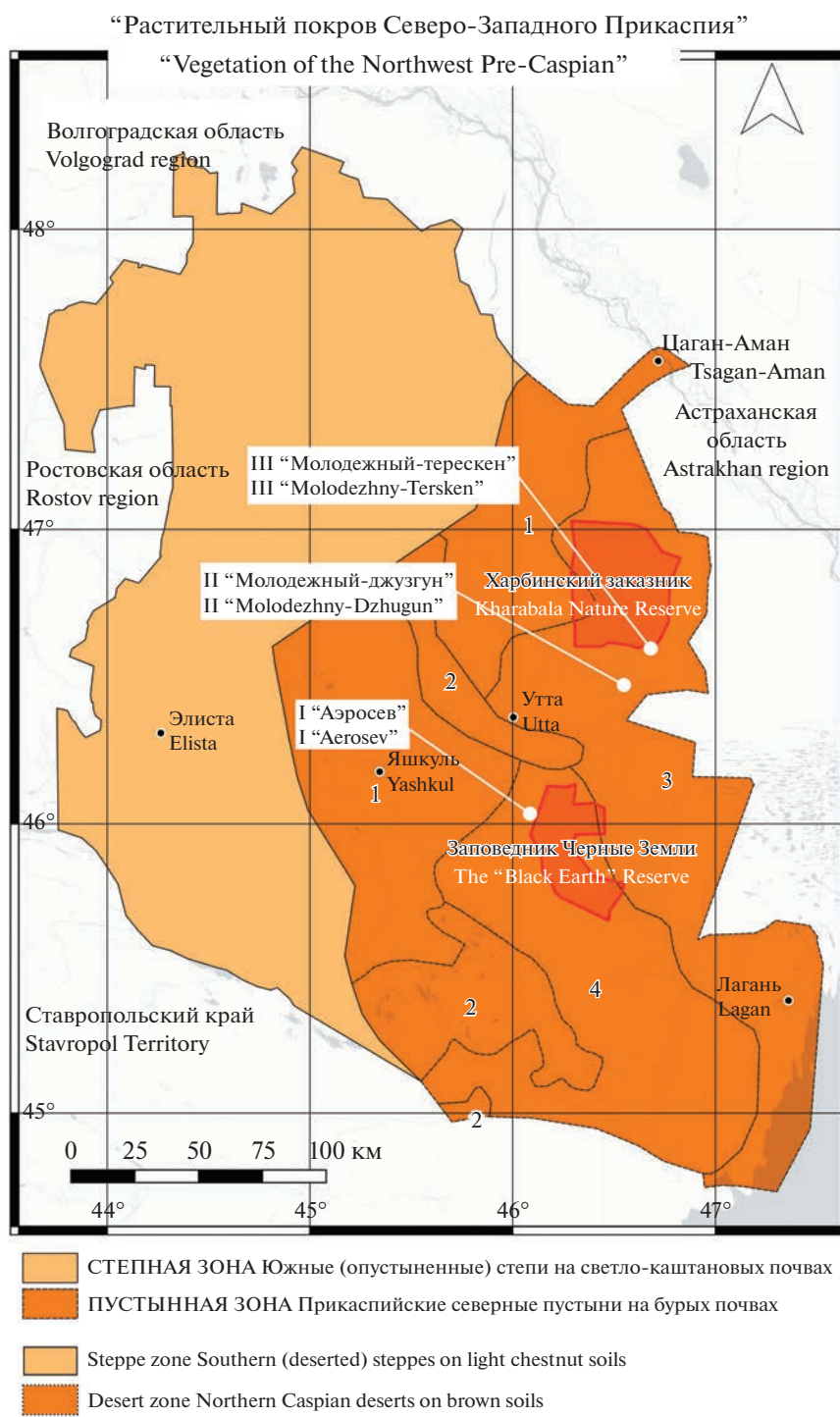
Метеорологические данные, полученные с метеостанций п. Утта (46°21'54" N 46°00'10" E) и п. Яшкуль (46°10'45" N 45°21'6" E), свидетельствуют, что за период исследований наибольшее количество осадков на участках “Аэросев” (290 мм) и “Молодежный” (263 мм) отмечалось в 2016 г., а

критически низкие значения (52 и 91 мм соответственно) установлены в 2020–2021 гг. (рис. 2).

Засушливость вегетационного периода в весенние месяцы усиливается частыми суховеями. Среднемесячная относительная влажность воздуха в теплый период года (апрель—октябрь) находится в пределах 35–57%. Среднегодовая температура воздуха в 2014–2021 гг. составила 10.8–12.9 °C, при средней многолетней 9.9 °C. Абсолютный минимум температуры составляет –34 °C, абсолютный максимум — +45 °C. Длительность безморозного периода — 175–185 дней.

Территория районов исследований представляет собой слабоволнистую равнину. Почвообразующими породами являются суглинки, супеси и тонкозернистые пески. Пески Черных земель богаты по минералогическому составу и сформированы полевошпатово-кварцевой легкой фракцией и амфиболово-эпидотовой тяжелой фракцией с примесью слюд, глауконита, апатита и из непрозрачных минералов — ильменита и лимонита. Такой состав вполне обеспечивает растения зольными элементами (P, Ca, Mg, K, S и др.). Тонкозернистость песков определяет их сравнительно высокую влагоемкость (наименьшая влагоемкость (НВ) 5–7%). Несмотря на малогумусность (0.01–0.3%), бурые пустынные почвы обладают достаточным потенциальным плодородием. Наличие тонкопесчаного скелета во всех почвах Северо-Западного Прикаспия является причиной их предрасположенности к дефляции [22].

Очаги дефляции с восстановленной растительностью, являющиеся объектами исследования, расположены на разной географической широте и исходно различались по степени трансформации почвенного и растительного покрова и способам восстановления открытых песков. Эти очаги опустынивания возникли в результате чрезмерной нагрузки при выпасе скота и распашке.



Участок I. Модельное травянисто-кустарниковое пастбище “Аэросев” (общая площадь 4000 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Черноземельский р-н, в 20 км к северо-востоку от п. Адык, координаты: 45°48’846” N, 45°49’968” E. Культивируемые виды-мелиоранты — *Ulmus pumila* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Fraxinus pennsylvan-*

ica Marshall., *Callygonum aphyllum* (Pall.) Guerke, *Krascheninnikovia ceratoides* L. Gueldenst. и *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. Высев *Leymus* проводился в 1988 г. самолетом АН-2 (“методом аэросева”) с использованием широкозахватного тоннельного распределителя РТШ-1 без микродозировочного устройства.

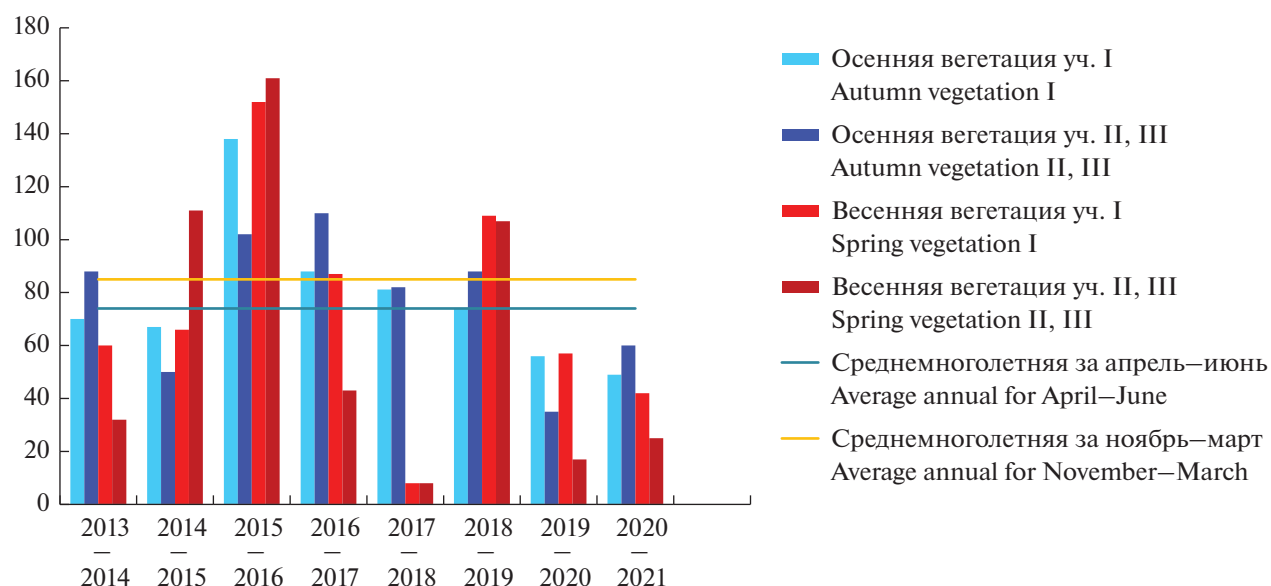


Рис. 2. Динамика изменения влагообеспеченности в годы проведения исследований.

По горизонтали — годы; по вертикали — осадки, мм.

Fig. 2. Dynamics of water availability over the study years. X-axis — years; y-axis — precipitation, mm.

Участок II. Модельное джужгуновое травянисто-кустарниковое пастбище (фитомелиорация проведена в 1985 г., общая площадь 1500 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Яшкульский р-н, в 36 км к югу от п. Молодежный, координаты: 46°27'08" N, 46°24'53" E. Под защитой борозд-валов испытаны различные варианты создания насаждений. Культивируемые виды-фитомелиоранты — *Callygonum aphyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Bassia prostrata* L., *Agropyron fragile* Roth., *Elytrigia intermedia* Host.

Участок III. Модельное терескеновое травянисто-кустарниковое пастбище (фитомелиорация проведена в 1985 г., общая площадь 1500 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Яшкульский р-н, в 30 км к югу от п. Молодежный, координаты: 46°33'17" N, 46°27'83" E. Культивируемые виды-фитомелиоранты — *Krascheninnikovia ceratoides*, *Bassia prostrata*, *Agropyron fragile* и *Elytrigia intermedia*.

Сбор данных. Ранние этапы восстановления растительности на участках исследования изучались по архивным материалам Калмыцкой научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции (НИАГЛОС). Фитомелиорация была проведена в 80-е гг. сотрудниками ВНИАЛМИ ныне ФНЦ агроэкологии РАН и Калмыцкой НИАГЛОС А.С. Манаенковым, В.И. Петровым, А.К. Кладиевым.

Исследования состояния растительности проводили ежегодно с 25 по 36 год с момента проведе-

ния фитомелиорации в июне по методике геоботанической съемки методом пробных площадей. На каждом участке были заложены по 3 постоянных пробных площади размером 10 × 10 м [28]. Видовой состав растений участков был установлен на основе общего списка видов, встречающихся на пробных площадях; доминантами считались виды, доля которых в наземной фитомассе составляла > 10%. Номенклатура видов приведена по сводке С.К. Черепанова [29].

Коэффициент видового сходства модельных травянисто-кустарниковых пастбищ рассчитывали по формуле (Серенсена—Чекановского):

$$K_s = 2a / (2a + b + c),$$

где: 2a — число общих видов на двух участках; b — число видов, зарегистрированных только на первом участке; c — число видов, зарегистрированных только на втором участке.

Урожайность участка учитывали укосным методом на 5 учетных площадках размером 1 × 1 м. Названия растительных сообществ устанавливались по доминантному принципу. Учет обилия видов и проективного покрытия проводили по шкале Ж. Браун-Бланке, где r — вид чрезвычайно редок с незначительным покрытием, + — вид встречается редко, степень покрытия мала; 1 — число особей велико, степень покрытия мала или особи разрежены, но покрытие большое; 2 — число особей велико, проективное покрытие от 5 до

25%; 3 — число особей любое, проективное покрытие от 25 до 50%; 4 — число особей любое, проективное покрытие от 50 до 75%; 5 — число особей любое, покрытие более 75% [30]. Постоянство рассчитывали по Ж. Браун-Бланке по встречаемости вида в %. Выделялось 5 классов постоянства: I — вид присутствовал не более чем на 20% площадок, II — вид присутствовал на 20–40% площадок, III — вид присутствовал на 40–60% площадок, IV — вид присутствовал на 60–80% площадок, V — вид присутствовал на 80–100% площадок.

Экологическую стабильность ($K_{э.с}$) и антропогенную нагрузку ($K_{а.н}$) территории районов исследования оценивали по формулам:

$$K_{э.с} = (\sum K_i P_i / \sum P_i) K_p, \quad (1)$$

где K_i — коэффициент стабильности угодья i -го вида (пастбища — 0.68), P_i — площадь угодья i -го вида, K_p — коэффициент стабильности рельефа.

Шкала стабильности территории: $K_{э.с} < 0.33$ — очень низкая; $K_{э.с} = 0.34–0.50$ — низкая; $K_{э.с} = 0.51–0.66$ — средняя; $K_{э.с} = 0.67–1$ — высокая.

$$K_{а.н} = \sum PB / \sum P, \quad (2)$$

где P — площадь земель с антропогенной нагрузкой, га, B — балл для оценки степени антропогенной нагрузки (пастбища — 3).

Принято считать: $K_{а.н} < 3.0$ — относительно низкая антропогенная нагрузка на территорию, $K_{а.н} = 3.1–3.5$ — умеренная, $K_{а.н} > 3.6$ — высокая.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановление растительного покрова в очагах дефляции. По архивным материалам было установлено, что после проведенных фитомелиоративных мероприятий на первой стадии зарастания участки занимали эфемеровые растительные группировки и корневищные псаммофиты, способные развиваться на подвижных песках. Со временем ландшафтное окружение способствовало экспансии видов зональной флоры в состав вторичного растительного покрова очагов дефляции.

На второй стадии зарастания очагов дефляции (через 5–10 лет) доминируют *Corispermum hyssopifolium* L., *Salsola tragus* L., *S. collina* Pall., появляются стержнекорневые многолетники (*Alhagi pseudalhagi* (M. Bieb.) Desv. ex B. Keller et Shap., *Artemisia arenaria* DC. Проективное покрытие увеличивается, и подвижность песков снижается, при этом с прилегающей территории на пастбища заносятся *Centaurea diffusa* Lam., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Sisymbrium loeselii* L., *Alyssum desertorum* Stapf., *Ceratocarpus arenarius* L., *Bromus tectorum* L.

и др. Межбарханные понижения занимают *Astragalus dolichophyllus* Pall., *Gypsophila paniculata* L., *Crepis tectorum* L. и др. Пески становятся неподвижными, все больше уплотняются и практически закрепляются, а растения первой стадии вытесняются [31].

На третьей стадии зарастания (через 10–15 лет) постепенно начинает формироваться зональная растительность, представленная видами р. *Artemisia* (*A. lercheana* Weber ex Stechm., *A. austriaca* Jacq., *A. santonicum* L.), *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Carex stenophylla* Wahlenb., *Bromus tectorum* L., *Centaurea diffusa*, *Carduus uncinatus* M. Bieb., единично встречаются *Agropyron fragile*, *A. cristatum* L. Gaertn., *Bassia prostrata* и др. Основу растительного покрова составляют ковыльно-разнотравные сообщества с участием около 30 видов из 15–25 семейств [32–34].

Через 30–35 лет после проведения фитомелиорации по результатам современных исследований (2014–2020 гг.) в очагах дефляции, где использовались разные приемы закрепления песков, растительный покров приобретает в значительной степени сходные черты. Восстановленные равнинные пастбищные территории на момент обследования в 2014 г. занимали злаковые *Poa bulbosa* L., *Bromus tectorum*, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult (проективное покрытие (ПП) 60%), костровые (*Bromus tectorum*, ПП 60%), терескено-ковыльные (*Krascheninnikovia ceratoides* (ПП 45%) + *Stipa lessingiana* (ПП 35%)) сообщества. В настоящее время на травянисто-кустарниковых пастбищах доминируют ковыльные (*Stipa lessingiana*, *St. capillata* (ПП 25%) + *Poa bulbosa*, *P. annua* L., *Eragrostis minor* Host., *Puccinellia distans* Jacq. parl. (ПП 10%)), осоково-разнотравные (*Carex stenophylla* (ПП 8%) + *Alyssum desertorum*, *Helichrysum arenarium*, *Phlomis pungens* Willd., *Prangos odontalgica* (Pall.) Herrnst. et Heyn) и мятликово-ковыльные (*Poa bulbosa* (ПП 7%) + *Stipa lessingiana*, *St. capillata* (ПП 15%)) сообщества (табл. 1). Современный вторичный растительный покров сформировался под влиянием животноводческой нагрузки, аридизации климата и антропогенных факторов. За последние восемь лет температуры увеличились по отношению к среднемноголетней за холодный период на 2.5–3 °C, за теплый период на 1–1.5 °C, а сумма осадков за вегетационный период понизилась на 97.4–102 мм при норме 165–170 мм. Нагрузка животных на пастбища в Черноземельском р-не составляет 0.56 гол./га, в Яшкульском р-не — 0.64 гол./га, что превышает нормативы на 27.8 и 36.2% соответственно.

За годы исследований на всех участках в составе фитоценозов отмечено увеличение доли участия высококонкурентных и устойчивых видов

Таблица 1. Параметры пустынно-пастбищных сообществ**Table 1.** Parameters of desert-pasture communities

Модельное пастбище Model pasture	Доминирующие растительные сообщества/площадь, га Dominant plant communities/ area, ha	ОПП ¹ травостоя % TPC ¹ of herbage	Высота, см Height, cm	Число ярусов Number of storeys	Фитомасса (возд. сух.), ц/га Phytomass, c/ha
I	Злаковое/125 Grass/125	60–70	32 ± 1.6	4	7.3
	Злаково-ковыльное/150 Grass–feather grass/150	30–40	22.5 ± 0.9	2–3	11.9
II	Костровое/80 Cheatgrass/80	30–40	37 ± 1.2	3	7.2
	Осоково–разнотравное/120 Sedge–forb/120	30–35	20 ± 1.5	2–3	6.8
III	Терескено-ковыльное/300 Winterfat–feather grass/300	40–50	43 ± 0.8	2	7.5
	Мятликово-ковыльное/350 Bluegrass–feather grass/350	35–40	22 ± 1.0	2	7.3

Примечание. ¹ОПП – общее проективное покрытие. В числителе данные 2014 г., в знаменателе данные 2019–2021 гг.
 Note. ¹TPC – total projective cover. In the numerator – data on 2014, in the denominator – data on 2019–2021.

семейства *Poaceae* (*Stipa capillata*, *St. lessingiana*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans*, *Bromus tectorum* и *Poa bulbosa*). Трансформация сообществ обусловлена интенсивностью хозяйственного использования (круглогодичное стравливание) и пирогенной дигрессией (зафиксированные пожары на I-ом участке наблюдались 23 мая 2014 г. и 16 июня 2015 г.; на I-ом и II-ом участках – 17 мая и 15 июня 2018 г.). Нерегулируемый выпас и воздействие пожаров способствуют замедлению восстановительной сукцессии растительного покрова. Как показали наши исследования, на изучаемой территории все фитоценозы являются антропогенно-трансформированными: I модельное пастбище (Черноземельский р-н) $K_{э,с} = 0.48$, $K_{а,н} = 3.54$; II-е и III-е модельное пастбище (Яшкульский р-н) $K_{э,с} = 0.59$, $K_{а,н} = 3.25$.

Видовое разнообразие травянисто-кустарниковых пастбищ. Анализ динамики видового состава показывает, что для фитомелиорированных пастбищных территорий характерно повышенное видовое разнообразие по сравнению с целиной. За период многолетнего мониторинга (2014–2021 гг.) на 3-х модельных участках отмечено высокое постоянство 41 вида растений из 14 семейств, встречающихся ежегодно. По количеству видов наиболее представительны 4 семейства – Asteraceae (23.5%),

Poaceae (20.4%), Brassicaceae (13.3%) и Chenopodiaceae (9.2%). Видовое богатство на трех исследуемых модельных участках в общей сложности представлено 85 видами сосудистых растений из 80 родов и 20 семейств. Древесные растения (деревья, кустарники, полукустарники, полукустарнички) составляют 9.6% (9 видов), травы 90.4% (85 видов). Наибольшее количество видов растений было обнаружено на I-ом модельном участке (“Аэросев”). При использовании в период закрепления песков кустарника *Callygonum aphyllum*, полукустарника *Krascheninnikovia ceratoides* и травянистого многолетника *Leymus racemosus* сформировались многоярусные фитоценозы. Результаты исследований показали, что травянисто-кустарниковые пастбища практически одинакового возраста имеют большое сходство по видовому составу, коэффициент Серенсена–Чекановского по участкам составляет 0.608 (I-ый и II-ой участки), 0.721 (II-ой и III-ий участки), 0.699 (I-ый и III-ий участки). Четкой тенденции увеличения количества древесных видов во времени не наблюдалось. На III-ем модельном травянисто-кустарниковом пастбище по состоянию на 2021 г. отмечена самая высокая плотность полукустарников 6800 шт./га, в то время как на других участках плотность древесных пород сократилась на 35–38% (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики пустынно-пастбищных сообществ на модельных участках
Table 2. Characteristics of desert-grassland communities in the model plots

Характеристики Characteristics	Модельные участки Model plots					
	I		II		III	
	2014	2021	2014	2021	2014	2021
Количество древесных видов Number of woody plants	11	8	4	4	5	4
Количество травянистых видов Number of herbaceous species	42	38	36	34	40	36
Общее количество видов растений Total number of species	53	46	40	38	45	40
Количество семейств растений Number of plant families	17	15	14	14	14	14
Плотность кустарников (шт./га) Density of shrubs (pcs/ha)	5500	4200	5300	4400	7200	6800
Однолетние/многолетние виды Annual/perennial species	22/31	20/26	23/17	26/12	23/22	23/17
Коэффициент экологической стабильности Environmental stability factor	0.48		0.59		0.59	
Коэффициент антропогенной нагрузки Anthropogenic load factor	3.54		3.25		3.25	

Примечание. I — модельное пастбище “Аэросев”, II — модельное пастбище “Молодежный (джузгун)”, III — модельное пастбище “Молодежный (терескен)”.

Note. I — model pasture Aerosev, II — model pasture Molodezhny (*Calligonum*), III — model pasture Molodezhny (winterfat, *Krascheninnikovia ceratoides*).

Как и в других вторичных сукцессиях, на пастбищах скорость смены видов высока в течение первых 10 лет. К этому времени уже сложились соотношения между различными функциональными группами видов и в дальнейшем изменения замедляются. Наряду с постоянными доминантами модельных пастбищ — *Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *Artemisia lerchiana* высокую стабильность в течение 8 лет имеют еще 6 видов: *Alyssum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans*, *Poa bulbosa*.

Колебание количества осадков в течение вегетационного периода определяет видовой состав, общее проективное покрытие и продуктивность пастбищных экосистем в цикле многолетнего развития. При изменении режима природопользования (без выпаса, регулируемая пастьба) и увеличении суммы осадков за апрель—июнь в фитоценозах пастбищ происходят резкие изменения в сторону увеличения видовой насыщенности и проективного покрытия: низкое покрытие — 30% наблюдалось

в 2021 г. при количестве осадков 140 мм, более высокое — 60–70% в 2016 г. (осадки 337 мм). Во влажные 2015–2016 гг. при обилии однолетников доля в общем проективном покрытии доминанта пастбищ *Poa bulbosa* составила 15%, а в сухие 2018–2021 гг. снизилось до 4%. В последние годы отмечено увеличение в составе фитоценозов роли *Carex stenophylla*.

Растительный покров любой территории максимально использует ресурсы среды. Ведущая роль принадлежит разнообразию жизненных форм растений. В спектре жизненных форм нижнего яруса на I-ом модельном пастбище (“Аэросев”) численно преобладают многолетние виды (56.5%), одно- и двулетние растения составляют 43.5%. Кустарниковый и полукустарниковый ярусы в результате интенсивного антропогенного воздействия (выпас скота) и пожаров прошлых лет сильно деградировали, в древесном ярусе остались единичные экземпляры *Ulmus pumila*. Анализ жизненных форм растений 36-летнего II-го мо-

Таблица 3. Урожайность модельных пастбищ в зависимости от температуры и осадков теплого и холодного периодов
Table 3. The yield of model pastures depending on the temperature and precipitation in the warm and cold periods

Год исследования Year of study	Урожайность, т/га (y) Yield, t/ha (y)	Холодный период (ноябрь—март) Cold period (November—March)		Теплый период (апрель—июнь) Warm period (April—June)	
		Температура, °C, (x ₁) Temperature, °C (x ₁)	Осадки, мм (x ₂) Precipitation, mm (x ₂)	Температура, °C, (x ₃) Temperature, °C (x ₃)	Осадки, мм (x ₄) Precipitation, mm (x ₄)
I модельное пастбище “Аэросев”** I model pasture Aerosev					
2014	0.73	+1.36	70	+19.2	60
2015	1.33	+1.0	67	+18.8	66
2016	2.97	+2.9	138	+18.8	152
2017	1.44	+0.3	88	+17.3	87
2018	0.16	+1.5	81.2	+19.5	8.0
2019	1.36	+2.4	74	+20.0	109
2020	1.32	+2.7	56	+18.8	57
2021	1.19	+0.4	49	+19.8	42
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.432	r = 0.686	r = −0.245	r = 0.903
II модельное пастбище “Молодежный (джузгун)”*** II model pasture Molodezhny (<i>Calligonum</i>)					
2014	0.72	+0.1	88	+19.0	32
2015	1.12	+0.7	50	+18.7	111
2016	2.71	+2.0	102	+18.5	161
2017	0.57	+0.6	110	+17.1	43
2018	0.62	+0.4	82	+19.4	8.0
2019	0.88	+1.4	88	+19.9	107
2020	0.29	+1.3	35	+19.9	17
2021	0.68	+0.5	60	+18.3	25
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.486	r = 0.402	r = 0.164	r = 0.850
III модельное пастбище “Молодежный (терескен)”*** III model pasture Molodezhny (winterfat, <i>Krascheninnikovia ceratoides</i>)					
2014	0.75	+0.1	88	+19.0	32
2015	1.24	+0.7	50	+18.7	111
2016	2.57	+2.0	102	+18.5	161
2017	0.93	+0.6	110	+17.1	43
2018	0.87	+0.4	82	+19.4	8.0
2019	1.04	+1.4	88	+19.9	107
2020	0.39	+1.3	35	+19.9	17
2021	0.73	−0.5	60	+18.3	25
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.449	r = 0.481	r = 0.239	r = 0.864

Примечание. * Данные метеостанции Яшкуль 46°10'45" N 45°21'6" E.; ** Данные метеостанции Утта 46°21'54" N 46°00'10" E.
 Note. * Data of Jaskul weather station 46°10'45" N 45°21'6" E; ** Data of Utta weather station 46°21'54" N 46°00'10" E.

дельного джугуновского пастбища показал, что доля однолетников значительна и составляет 68.4%, многолетников в 2 раза меньше — 31.6%. Верхний ярус модельного пастбища представлен полукустарником *Krascheninnikovia ceratoides* и кустарником *Callygonum aphyllum* (покрытие по 2.3%), полукустарничками *Artemisia lercheana*, *Bassia prostrata* (4.5%). По составу жизненных форм на III-ем терескеневом пастбище численно преобладают малолетние (одно- и двулетние) травянистые растения (57.5%), многолетние виды составляют 42.5%. Полукустарнички — *Tanacetum achilleifolium*, *Artemisia lercheana*, *Bassia prostrata* имеют общее покрытие 7.5%, полукустарник *Krascheninnikovia ceratoides* — 2.5%. В многоярусных растительных сообществах нижний ярус быстрее проходит восстановительную сукцессию и лучше адаптируется к погодным условиям.

В течение последних десятилетий частота, интенсивность и продолжительность засух в засушливой зоне Северо-Западного Прикаспия демонстрируют явную тенденцию к повышению. Засухи создают неблагоприятные условия для роста растений из-за снижения доступности воды и уровня влажности почвы.

Урожайность фитомассы на модельных травянисто-кустарниковых пастбищах. В засушливые годы (2018–2021 гг.) наибольшие запасы фитомассы формируются в приземном слое травостоя (0–15 см) и составляют 47–62% от среднемноголетней урожайности на пробных площадках при средней высоте растений не превышающей 20 см. Контрольные укусы позволили установить, что общая средняя урожайность травостоя модельных пастбищ составила 1.31 т/га (I-е модельное пастбище), 0.73 т/га (II-е модельное пастбище) 0.81 т/га (III-е модельное пастбище). Следует отметить, что урожайность обследованных площадей за 2014–2021 гг. в зависимости от видового состава варьировала от 0.16 до 2.97 т/га (табл. 3).

Учет кормовой массы кустарников на модельных пастбищах из *Calligonum aphyllum* показал, что при умеренном стравливании (60% прироста) может накапливаться 2.54 т/га сухой массы, масса *Krascheninnikovia ceratoides* составляет 0.21 т/га. Насаждения древесных растений (кустарники и полукустарники), созданные на пастбищах, являются существенной добавкой к кормовой продуктивности пустынно-пастбищных фитоценозов засушливой зоны.

Анализ связи урожайности с климатическими показателями (табл. 3) показал, что на модельном пастбище “Аэросев” наблюдается тесная связь урожайности (y) с осадками холодного (x_2) и теплого периода (x_4) ($r = 0.69$ и 0.91 соответственно);

уравнение множественной регрессии: $y = 0.002x_2 + 0.015x_4 + 0.0007$. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0.819$) свидетельствует, что примерно 82% вариации урожайности фитомассы учтено уравнением регрессии.

На II-ом и III-ем участках выявлена умеренная зависимость урожайности кормовой массы от температуры ($r = 0.45$ и $r = 0.49$) и осадков ($r = 0.40$ и $r = 0.48$) холодного периода и практическое отсутствие зависимости от температуры в теплый период (x_3) ($r = 0.16$ и 0.24). Наиболее существенное влияние на урожайность оказывают осадки теплого периода: ($y = 0.011x_4 + 0.237$, $r = 0.85$, $R^2 = 0.725$ и $y = 0.010x_4 + 0.423$, $r = 0.86$, $R^2 = 0.747$ соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам многолетнего (2014–2021 гг.) мониторинга природных и антропогенных сукцессий и оценки устойчивости вторичного растительного покрова на территории северо-западной части Прикаспийской равнины (юго-запад Республики Калмыкия) установлено, что изменения видового разнообразия, видового обилия и урожайности исследованных пастбищ находятся в зависимости от метеорологических условий теплого периода и степени пастбищной нагрузки. В цикле многолетнего развития растительности пастбищ Северо-Западного Прикаспия при колебании осадков и температурного режима проявляются флуктуационные изменения фитоценозов.

На всех ранее фитомелиорированных участках при восстановительной сукцессии характерно постепенное увеличение числа видов и проективного покрытия, а также смена терофитов многолетниками. Видовой состав модельных пастбищ включает 40 постоянных видов из 14 семейств, обеспечивающих относительную устойчивость пустынно-пастбищных экосистем в меняющихся условиях среды.

Продуктивность травостоя за 2014–2021 гг. в зависимости от видового состава колебалась от 0.16 до 2.97 т/га. На участках с мятлико-ковыльными (*Poa bulbosa*, *Stipa lessingiana*, *St. capillata*) и осоко-разнотравными (*Carex stenophylla*, *Alyssum desertorum*, *Helichrysum arenarium*, *Phlomis pungens*, *Prangos odontalgica*) сообществами, ведущими по массе были группы злаков и разнотравья. Наряду с доминантами модельных пастбищ *Stipa lessingiana*, *St. capillata*, *Artemisia lerchiana* высокое постоянство (60–70%) в течение 8 лет имели еще 6 видов, представленных в основном однолетниками: *Alyssum desertorum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans* и *Poa bul-*

bosa. Антропогенные факторы (пожары и выпас) оказывают сильное влияние на состояние и динамику растительности. Сукцессии, вызванные ненормированным выпасом сельскохозяйственных животных, приводят к инвазии видов с выраженной устойчивостью к выпасу (*Lappula patula* (Lehm.) Menyh, *Heliotropium suaveolens* M. Bieb., *Lagoseris sancta* (L.) K. Maly, *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit.), составляющих основу сообществ в период наших исследований. Песчаные массивы могут иметь устойчивый растительный покров

только при сохранении многолетних кустарников и травянистых растений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме Государственного задания № 122020100407-3 “Теоретические основы и технологии устойчивого функционирования природных кормовых угодий аридных и субаридных регионов средствами комплексной фитомелиорации в условиях опустынивания и изменения климата”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Batchelor J.L., Ripple W.J., Wilson T.M., Painter L.E. 2015. Restoration of Riparian Areas Following the Removal of Cattle in the Northwestern Great Basin. — Environ. Manage. 55(4): 930–942. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0436-2>
2. Радочинская Л.П., Кладиев А.К., Рыбашлыкова Л.П. 2019. Продукционный потенциал восстановленных пастбищ северо-западного Прикаспия. — Аридные экосистемы. 25(1(78)): 61–68. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2019-10045>
3. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.В., Черенкова Е.А. 2020. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге Европейской России. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 76–83. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10121>
4. Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен В.З. 2020. Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 26–34. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10115>
5. Rybashlykova L.P., Lepesko V.V. 2021. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia. — Лесной журнал (Russian forestry journal). 3(381): 37–48. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-37-48>
6. Беляев А.И., Кулик К.Н., Петров В.И., Манаенков А.С., Юфеев Ю.Г., Ольгаренко Г.В., Болаев Б.К., Пугачёва А.М., Рыбашлыкова Л.П., Власенко М.В., Корнеева Е.А., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. 2021. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. Волгоград. 68 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46113551>
7. Alexander L.V. 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. — Weather Clim. Extrem. 11: 4–16.
8. Власенко М.В., Кулик А.К., Турко С.Ю., Балкушкин Р.Н., Тютюма Н.В. 2019. Эколого-фитоценотическая организация псаммофитных сообществ Цимлянского песчаного массива. — Юг России: экология, развитие. 14(4): 35–45. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-35-45>
9. Бананова В.А., Лазарева В.Г., Петров К.М. 2021. Тенденции процессов опустынивания в Северо-Западной части Прикаспийской низменности. — Геология, география и глобальная энергия. 1(80): 77–86. <https://geo.asu.edu.ru/?articleId=1414>
10. Stybaev G., Serepbaev N., Yancheva H., Baitelenova A., Nogaev A., Khurmetbek O., Mukhanov N. 2021. Succession dynamics, quality and productivity on improved and natural pastures in Northern Kazakhstan. — Bulg. J. Agric. Sci. 27(S1): 95–102. <http://www.agrojournal.org/27/01s-12.html>
11. Yan Q., Zhu J., Zheng X., Jin C. 2015. Causal effects of shelter forests and water factors on desertification control during 2000–2010 at the Horqin Sandy Land region, China. — J. Forest. Res. 26(1): 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0012-x>
12. Gavilan R.G., Sánchez-Mata D., Gaudencio M., Gutiérrez-Girón A., Vilches B. 2016. Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (Fabaceae) on native vegetation in central Spain. — J. Pl. Ecol. 9(2): 132–143. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv039>
13. Лазарева В.Г. 2018. Трансформация пространственной структуры растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в связи с антропогенным воздействием. — Изв. Самарского научного центра РАН. 20(2): 116–123. <https://doi.org/10.24411/1990-5378-2018-00008>

14. Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева С.С. 2018. К 30-летию “Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием черных земель и Кизлярских пастбищ”. — Аридные экосистемы. 24(1(74)): 5–12. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32570972>
15. Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E. 2019. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. — Sci. Total Environ. 652: 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>
16. Турко С.Ю., Власенко М.В., Кулик А.К. 2016. Математическое моделирование роста и развития кормовых трав на аридных пастбищах. — Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 1(41): 219–228. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25944098>
17. Гамун М., Ханчи Б., Неффати М. 2012. Динамика аридных сообществ на сахарских пастбищах в Тунисе. — Аридные экосистемы. 18(2(51)): 54–61. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17588264>
18. Лазарева В.Г., Очирова П.Д., Сератирова В.В., Болдырева Д.А. 2012. Сохранение природного разнообразия Республики Калмыкия. — Изв. Самарского научного центра РАН. 14(1–4): 1039–1042. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1039_1042.pdf
19. Чемидов М.М. 2009. Пастбищная растительность Черных земель Калмыкии. — Вестн. ОрелГАУ. 4: 31–34.
20. Valladares F., Matesanz S., Guilhaumon F., Araújo M.B., Balaguer L., Benito-Garzón M., Cornwell W., Gianoli E., Van Kleunen M., Naya D.E., Nicotra A.B., Poorter H., Zavala M.A. 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. — Ecol. Lett. 17(11): 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/ele.12348>
21. Манаенков А.С., Кулик А.К. 2016. Закрепление и облесение песков засушливой зоны. Волгоград. 55 с.
22. Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е издание переработанное и дополненное. Волгоград. 428 с.
23. Манаенков А.С., Рыбашлыкова Л.П. 2020. Повышение эффективности восстановления растительного покрова в современных очагах дефляции на пастбищах северо-западного Прикаспия. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 116–126. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10126>
24. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З., Орловский Н.С., Шамсутдинова Э.З. 2021. Биогеоценотические принципы реставрации пастбищ в Центральноазиатской пустыне. — Вестник Российской Академии наук. 91(3): 273–282. <https://doi.org/10.31857/S0869587321030087>
25. Чибилев А.А. 1999. Стратегия сохранения степных и полупустынных ландшафтов в Российско-Казахстанском приграничном регионе. — Известия РАН. Серия географическая. 4: 85–92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39281831>
26. Larionov M.V., Dogadina M.A., Tarakin A.V., Minakova I.V., Sentishcheva E.A., Bukreeva T.N. 2021. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. — IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848: 12127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012127>
27. Рыбашлыкова Л.П., Беляев А.И., Пугачёва А.М. 2019. Мониторинг сукцессионных изменений пастбищных фитоценозов в “потухших” очагах дефляции Северо-Западного Прикаспия. — Юг России: экология, развитие. 14(4): 78–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-78-85>
28. Elzinga C.L., Salzer D.W., Willoughby J.W., Gibbs J.P. 2001. Monitoring Plant and Animal Populations: A Handbook for Field Biologists. Oxford. 372 p.
29. Czerepanov S.K. 1995. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR), Cambridge. 516 p.
30. Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie, Wien New-York. 865 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
31. Радочинская Л.П. 2017. Сохранение видового и популяционного биоразнообразия на лесопастбищах черных земель как фактор экологической стабильности в регионе. — Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 4(68): 161–167.
32. Бакташева Н.М., Босхамджиева С.Г. 2014. Обобщение опыта изучения специфической флоры в засушливых условиях Республики Калмыкия. — В сб.: Сравнительная флористика: анализ видового разнообразия растений. Проблемы. Перспективы. “Толмачевские чтения”: сборник статей по материалам X Междунар. школы-семинара по сравнительной флористике. Краснодар. С. 20–30.
33. Бакташева Н.М. 2000. Флора Калмыкии и ее анализ. Элиста: Джангар. 134 с.
34. Муртачаева П.М.–С. 2014. Мониторинг состояния древесных пород в искусственных насаждениях Терско-Кумской низменности. — Аридные экосистемы. 20(1(58)): 39–44. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21680577>

Plant Community Transformations in Desert Rangeland Ecosystems — Evidence from the North-Western Caspian Lowland

L. P. Rybashlykova^a, *, S. Yu. Turko^a

^aFederal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

*e-mail: ludda4ka@mail.ru

Abstract—The article presents the results of long-term monitoring of successions, and the production dynamics in desert rangeland phytocenoses over an 8-year period (2014–2021). It shows the current state of vegetative cover of the Chernozemelskaya sandy plain (north-west of the Caspian lowland, Republic of Kalmykia) following forest reclamation of fine-grained sands, carried out in the 1970s–1990s. The centers of soil deflation (aeolian erosion) differed by the degree of soil and vegetative cover transformation and the methods of the reclamation of open sands. Currently, a secondary vegetative cover has been formed on the previously identified deflation patches. The expansion and evolution of the current species composition suggests the development of secondary succession. The features of the synusial structure of desert phytocenoses reflect the state of plant communities. The relationship of the productivity of model pastures (shrub *Callygonum aphyllum*, subshrub *Krascheninnikovia ceratoides*, herbaceous species *Stipa lessingiana*, *Artemisia lerchiana*, *Alysum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Poa bulbosa*) with precipitation in warm and cold periods of the growing season is analyzed. Under changing temporal and spatial climate dynamics, the successional processes are greatly influenced by wildfires and anthropogenic impact. It has been established that secondary successions under heavy transformation of the agro-pasture landscape develop more slowly. Thus, the natural and landscape environment of the current deflation centres in the rangelands of the North-Western Caspian region is an important factor determining the direction of succession.

Keywords: arid ecosystems, pasture phytocenoses, centers of deflation, changes in biodiversity, transformation

ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded within the framework of State research assignment № 122020100407-3 “Theoretical foundations and technologies for the sustainable functioning of natural forage lands of arid and subarid regions by means of integrated phytomelioration under desertification and climate change”.

REFERENCES

1. Batchelor J.L., Ripple W.J., Wilson T.M., Painter L.E. 2015. Restoration of Riparian Areas Following the Removal of Cattle in the Northwestern Great Basin. — *Environ Manage.* 55(4): 930–942. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0436-2>
2. Radochinskaya L.P., Kladiev A.K., Rybashlykova L.P. 2019. Production potential of restored pastures of the Northwestern Caspian. — *Arid Ecosyst.* 9(1): 51–58. <https://doi.org/10.1134/S2079096119010086>
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A. 2020. Characteristics of Spring-Summer Drought in Dry and Wet Periods in the South of European Russia. — *Arid Ecosyst.* 10(4): 322–328. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040216>
4. Lazareva V.G., Bananova V.A., Nguyen V.Z. 2020. Dynamics of modern vegetation for pasture use in the northwestern Pre-Caspian region. — *Arid Ecosystems.* 10(4): 26–34. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040137>
5. Rybashlykova L.P., Lepesko V.V. 2021. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia. — *Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal).* 3(381): 37–48. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-37-48>
6. Belyaev A.I., Kulik K.N., Petrov V.I., Manaenkov A.S., Yuferev Yu.G., Olgarenko G.V., Bolayev B.K., Pugacheva A.M., Rybashlykova L.P., Vlasenko M.V., Korneyeva E.A., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. 2021. [Methodological recommendations on phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource-saving technologies]. Volgograd. 68 p. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46113551> (In Russian)
7. Alexander L.V. 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. — *Weather Clim. Extrem.* 11: 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>

8. *Vlasenko M.V., Kulik A.K., Turko S.Yu., Balkushkin R.N., Tyutyuma N.V.* 2019. Ecological-phytocenotic organization of psammophytic communities of the Tsimlyansky sandy massif. — South of Russia: ecology, development. 14(4): 35–45 <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-35-45> (In Russian)
9. *Bananova V.A., Lazareva V.G., Petrov K.M.* 2021. Analysis of trends of desertification in North-Western Caspia. — Geology, Geography and Global Energy. 1(80): 77–86 <https://geo.asu.edu.ru/?articleId=1414&lang=en> (In Russian)
10. *Stybaev G., Serepaev N., Yancheva H., Baitelenova A., Nogaev A., Khurmetbek O., Mukhanov N.* 2021. Succession dynamics, quality and productivity on improved and natural pastures in Northern Kazakhstan. — Bulg. J. Agric. Sci. 27(S1): 95–102. <http://www.agrojournal.org/27/01s-12.html>
11. *Yan Q., Zhu J., Zheng X., Jin C.* 2015. Causal effects of shelter forests and water factors on desertification control during 2000–2010 at the Horqin Sandy Land region, China. — J. Forest. Res. 26(1): 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0012-x>
12. *Gavilan R.G., Sánchez-Mata D., Gaudencio M., Gutiérrez-Girón A., Vilches B.* 2016. Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (Fabaceae) on native vegetation in central Spain. — J. Pl. Ecol. 9(2): 132–143. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv039>
13. *Lazareva V.G.* 2018. Features of spatial distribution of anthropogenic vegetation on dreveneishikh terraces of the Caspian depression. — Izvestia of Samara Scientific Center RAS. 20(2): 116–123. <https://doi.org/10.24411/1990-5378-2018-00008> (In Russian)
14. *Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S.* 2018. On the 30th Anniversary of the “General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures”. — Arid Ecosyst. 8(1): 1–6. <https://doi.org/10.1134/S2079096118010067>
15. *Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E.* 2019. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. — Sci. Total Environ. 652: 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>
16. *Turko S.Yu., Vlasenko M.V., Kulik A.K.* 2016. Mathematical modeling of growth and development forage grasses on arid rangelands]. — Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 1(41): 219–228 <https://elibrary.ru/item.asp?id=25944098> (In Russian)
17. *Gamoun M., Hanchi B., Neffati M.* 2012. Dynamic of plant communities in Saharan rangelands of Tunisia. — Aridnye Ekosistemy. 18(2(51)): 54–61 <https://elibrary.ru/item.asp?id=17588264> (In Russian)
18. *Lazareva V.G., Ochirova P.D., Seratirova V.V., Boldyreva D.A.* 2012. [Preservation of the natural diversity of Kalmyk Republic]. — Izvestia of Samara Scientific Center RAS. 14(1–4): 1039–1042 http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1039_1042.pdf (In Russian)
19. *Chemidov M.M.* 2009. [Pasture vegetation of the Black Lands of Kalmykia]. — Vestnik OrelGAU. 4: 31–34. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12836554> (In Russian)
20. *Valladares F., Matesanz S., Guilhaumon F., Araújo M.B., Balaguer L., Benito-Garzón M., Cornwell W., Gianoli E., Van Kleunen M., Naya D.E., Nicotra A.B., Poorter H., Zavala M.A.* 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. — Ecol. Lett. 17(11): 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/ele.12348>
21. *Manaenkov A.S., Kulik A.K.* 2016. Anchorage and afforestation of the sands of the Arid Zone. Volgograd. 55 p. (In Russian)
22. *Manaenkov A.S.* 2018. [Fixation and forest reclamation of sands of arid zones]. Volgograd. 428 p. (In Russian)
23. *Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P.* 2020. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region. — Arid Ecosyst. 10(4): 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
24. *Shamsutdinov Z.Sh., Shamsutdinov N.Z., Orlovsky N.S., Shamsutdinova E.Z.* 2021. Biogeocenotic principles of pasture restoration in the Central Asian desert. — Her. Russ. Acad. Sci. 91(2): 204–212. <https://doi.org/10.1134/S1019331621020076>
25. *Chibilev A.A.* 1999. Strategy of conservation of steppe and semi-desert landscapes in Russian-Kazakh border region. — Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. 4: 85–92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39281831> (In Russian)
26. *Larionov M.V., Dogadina M.A., Tarakin A.V., Minakova I.V., Sentishcheva E.A., Bukreeva T.N.* 2021. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. — IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848: 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012127>
27. *Rybashlykova L.P., Belyaev A.I., Pugacheva A.M.* 2019. Monitoring successional changes in pasture phytocenoses in “exhausted” areas of deflation in the North-West Caspian. — South of Russia: ecology, development. 14(4): 78–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-78-85> (In Russian)
28. *Elzinga C.L., Salzer D.W., Willoughby J.W., Gibbs J.P.* 2001. Monitoring Plant and Animal Populations: A Handbook for Field Biologists. Oxford. 372 p.

29. *Czerepanov S.K.* 1995. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR), Cambridge. 516 p.
30. *Braun-Blanquet J.* 1964. Pflanzensozologie, Wien New-York. 865 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
31. *Radochinskaya L.P.* 2017. Species and population biodiversity conservation in Black Lands forest pastures as a factor of environmental stability in the region. — Puty Povysheniya Effektivnosti Oroshaeyemogo Zemledeliya. 4(68): 161–167.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=30711018> (In Russian)
32. *Baktasheva N.M., Boshamdjieva S.G.* 2014. [Generalization of the experience of studying specific flora in arid conditions of the Republic of Kalmykia]. — In: [Comparative floristics: analysis of plant species diversity. Problems. Prospects. Tolmachev scientific conference. Collected papers of the X International workshop on comparative floristics]. Krasnodar. P. 20–30. (In Russian)
33. *Baktasheva N.M.* 2000. [Flora of Kalmykia and its analysis]. Elista. 134 p. (In Russian)
34. *Muratchaeva P.M.-S.* 2014. Monitoring of the condition of tree species in artificial plantings of the Terek–Kuma lowland. — Arid Ecosyst. 4(1): 35–38.
<https://doi.org/10.1134/S2079096114010053>