

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. № 3. (116). С. 22-43.  
Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2022. № 3. (116). P. 22-43.

## ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 504.05: 581.192

doi: 10.26110/ARCTIC.2022.116.3.002

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ И В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

**Елена Васильевна Агбалян<sup>1</sup>, Елена Владимировна  
Шинкарук<sup>2</sup>, Александр Сергеевич Печкин<sup>3</sup>, Александр  
Сергеевич Красненко<sup>4</sup>, Елена Васильевна Письмаркина<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup>«Научный центр изучения Арктики», Салехард, Россия

<sup>5</sup>Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup>agbelena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4494-798X>

<sup>2</sup>elena1608197@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>

<sup>3</sup>a.pechkin.ncia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>

<sup>4</sup>aleks-krasnenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-8525>

<sup>5</sup>elena\_pismar79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8413-3860>

**Аннотация.** Перспективным методом оценки состояния природных и техногенных ландшафтов является изучение химического состава растений и реакций организмов на антропогенное воздействие. Освоение нефтегазовых месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа приводит к загрязнению всех компонентов ландшафта. Изучен уровень накопления тяжелых металлов и мышьяка в растениях естественных ландшафтов и в зоне влияния нефтегазодобывающих объектов в зависимости от видовой принадлежности. Исследование проводилось в течение полевого сезона 2019 года на 17 пробных площадках (ПП), входящих в систему комплексного экологического мониторинга. Отобраны объединенные пробы доминантных видов растений: *Betula pubescens* Ehrh., *B. nana* L., *Salix lanata* L., *S. glauca* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Rhododendron tomentosum* Норманн (*Ledum palustre* L. var. *decumbens* Aiton), наземные побеги трав, лишайники рода *Cladonia*

сп., мхи Bryophyta. Определение элементного состава растений выполнено методом рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа. Выявлены некоторые особенности в накоплении элементов растениями разных экобиоморф. Наблюдается значительное обогащение лиственных деревьев и кустарников Zn и Ni, хвойных деревьев – Cr, кустарников – Cr и As. Травянистые растения интенсивнее накапливают Cr, As и Y, а лишайники и мхи – Co, Cu, Ga, As, Y, V. В растениях, произрастающих в условиях техногенного загрязнения окружающей среды на месторождениях, возрастает содержание Cu, Co, Ga, As, Y и V. Необходимо более широко использовать растения в диагностике техногенной трансформации ландшафтов.

**Ключевые слова:** растения, тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды, нефтегазодобыча, ЯНАО.

**Цитирование:** Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В., Печкин А.С., Красненко А.С., Письмаркина Е.В. Элементный анализ растений естественных ландшафтов и в зоне влияния нефтегазодобычи // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. (116). № 3. С. 22-43. doi: 10.26110/ARCTIC.2022.116.3.002

Original article

## ELEMENTAL ANALYSIS OF PLANTS IN NATURAL LANDSCAPES AND IN THE ZONE OF INFLUENCE OF OIL AND GAS PRODUCTION

***Elena V. Agbalyan<sup>1</sup>, Elena V. Shinkaruk<sup>2</sup>, Alexander S. Pechkin<sup>3</sup>, Alexander S. Krasnenko<sup>4</sup>, Elena V. Pismarkina<sup>5</sup>***

*<sup>1,2,3,4</sup>Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russia*

*<sup>5</sup>Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, Russia*

*<sup>1</sup>agbelena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4494-798X>*

*<sup>2</sup>elena1608197@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>*

*<sup>3</sup>a.pechkin.ncia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>*

*<sup>4</sup>aleks-krasnenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-8525>*

*<sup>5</sup>elena\_pismar79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8413-3860>*

**Abstract.** A promising method for assessing the state of natural and technogenic landscapes is the study of the chemical composition of plants and the reactions of organisms to anthropogenic impact. The development of oil and gas fields in the Yamal-Nenets Autonomous District leads to pollution of all landscape components. The level of accumulation of heavy metals and arsenic in various types of plants in natural landscapes and in the zone of influence of oil and gas producing facilities was studied. The study was conducted during the 2019 field season on 17 test sites included in the integrated environmental monitoring system. Combined samples of dominant plant species were taken: *Betula pubescens* Ehrh., *B. nana* L., *Salix lanata* L., *S. glauca* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Rhododendron tomentosum* Harmaja (*Ledum palustre* L. var. *decumbens* Aiton), aerial shoots of grasses, lichens of the genus *Cladonia* sp., mosses Bryophyta. The elemental composition of plants was determined by energy-dispersive X-ray fluorescence analysis. Some features in the accumulation of elements by plants of different ecobiomorphs were revealed. There is a significant enrichment of deciduous trees and shrubs with Zn and Ni, coniferous trees with Cr, and shrubs with Cr and As. Herbaceous plants accumulate Cr, As and Y more intensively, while lichens and mosses accumulate Co, Cu, Ga, As, Y, V. The content of Cu, Co, Ga, As, Y, and V increases in plants growing under conditions of technogenic environmental pollution at oil and gas fields. It is necessary to use plants more widely in the diagnosis of technogenic transformation of landscapes.

**Keywords:** plants, heavy metals, environmental pollution, oil and gas production, Yamal-Nenets Autonomous District.

**Citation:** E.V. Agbalyan, E.V. Shinkaruk, A.S. Pechkin, A.S. Krasnenko. Elemental analysis of plants in natural landscapes and in the zone of influence of oil and gas production // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2022. (116). №3. P. 22-43. doi: 10.26110/ARCTIC.2022.116.3.002

### **Введение**

Одной из фундаментальных задач науки является исследование роли растений в круговороте химических элементов и их биогеохимической значимости. Растительные сообщества, наряду с почвой, играют основную средообразующую и средостабилизирующую роль в экосистемах. Однако не все виды растений выдерживают повышенные антропо- и техногенные нагрузки, способны поглощать и трансформировать техногенные загрязнения среды [1]. Накопление растениями химических элементов

определяется зонально-региональными закономерностями биогенной миграции элементов.

В Ямало-Ненецком автономном округе (далее – ЯНАО) сформирована территориальная система наблюдений за состоянием окружающей среды. Нефтегазодобывающий регион уделяет особое внимание экологическому мониторингу. Существуют нормативы качества окружающей среды «Фоновое содержание загрязняющих веществ в снежном покрове, в донных отложениях поверхностных водных объектов, в растительности Ямало-Ненецкого автономного округа» (утверждены приказом департамента природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа от 27 марта 2017 года № 328).

Перспективным и эффективным методом оценки состояния природно-территориальных комплексов является исследование химического состава растений и их реакции на антропогенное воздействие. В ЯНАО проводились комплексные экологические исследования на территории лицензионных участков в междуречьях рек Надым, Пур и Таз. В ходе этих исследований даны оценки исходного состояния окружающей среды лицензионных участков, изучены типичные для тундровых и лесотундровых ландшафтов *Rhododendron tomentosum* Harmaja (*Ledum palustre* L. var. *decumbens* Aiton) и лишайники [2] (здесь и далее названия видов сосудистых растений приведены по Plants of the World Online <https://powo.science.kew.org/>) [3].

Освоение нефтегазовых месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа приводит к загрязнению всех компонентов ландшафта, сопровождается трансформацией природной среды, в частности, аккумуляцией тяжелых металлов растениями и лишайниками. Загрязнения окружающей среды на лицензионных участках обусловлены в основном геологоразведочными работами, размещением шламовых амбаров, аварийными разливами, обслуживанием трубопроводов, эксплуатацией производственных и кустовых площадок, установок комплексной подготовки газа, факельных установок [4, 5].

В связи с вышеизложенным определение фоновых содержаний тяжелых металлов и мышьяка в растениях и лишайниках и получение данных о биогеохимической специализации указанных организмов актуально в настоящее время. Полученные сведения необходимы для оценки степени загрязнения растительного покрова лицензионных участков на современном этапе освоения месторождений углеводородного сырья.

Цель исследования: выявить уровень накопления тяжелых металлов и мышьяка разными видами растений и лишайников в естественных и нарушенных местообитаниях зоны влияния нефтегазодобывающих объектов.

### Материалы и методы

Исследование проводилось в течение полевого сезона 2019 года на 17 пробных площадках (ПП), входящих в систему комплексного экологического мониторинга. Известно, что химический состав растений и лишайников обусловлен в первую очередь составом и свойствами почв местообитания. В почвах изучаемой территории содержание большинства элементов существенно ниже кларка почв [6, 7]. Для арктических почв характерны интенсивные процессы выщелачивания и выноса элементов в составе твердого и жидкого стоков, чему способствует слабое развитие геохимических барьеров, в том числе биогеохимического барьера, играющего важную роль в стабилизации процессов миграции и аккумуляции веществ [6]. Для арктических ландшафтов характерна низкая интенсивность биологического круговорота и низкая самоорганизация, которые определяют малую устойчивость ландшафтов к антропогенному воздействию.

Изучены растения фоновых ландшафтов в зоне арктических тундр Гыданского полуострова на полигоне «Гыданский», в зоне северной тайги на полигоне «Верхне-Тазовский» (расположен на территории государственного природного заповедника «Верхне-Тазовский»), в северо-таежной зоне центральной части ЯНАО на полигоне «Надымский» (рис. 1, табл. 1).

Образцы растений отбирались на нарушенных местообитаниях полигона «Сабетта» (расположен на территории действующего Южно-Тамбейского нефтегазового месторождения ОАО «Ямал СПГ»), полигона «Средне-Хулымский» (расположен в буферной зоне действующего Средне-Хулымского нефтяного месторождения ООО «РИТЭК») и полигона «Ярудейский» (расположен на Ярудейском нефтегазовом месторождении ООО «Яргео»).

Исследуемые территории приурочены к разным типам осадочных пород и почв, условиям увлажнения, техногенно-нагруженные участки имеют разное положение по отношению к потенциальным источникам загрязнения (ветровой перенос, направление стока, геохимические барьеры и прочие пути миграции).

Пробные площади (далее – ПП) на полигонах представляли собой типичные участки 10×10 м с характерным растительным покровом. Места для выбора ПП определялись с учетом особенностей рельефа и специфики розы ветров. На каждой ПП осуществлялся отбор проб не менее чем с 10 индивидуальных растений для каждого вида (объединенные пробы). К таковым отнесены деревья: *Betula pubescens* Ehrh., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L.; кустарники: *Betula nana* L., *Salix lanata* L., *S. glauca* L.; кустарнички: *Vaccinium vitis-idaea* L., *Rhododendron tomentosum* Harmaja

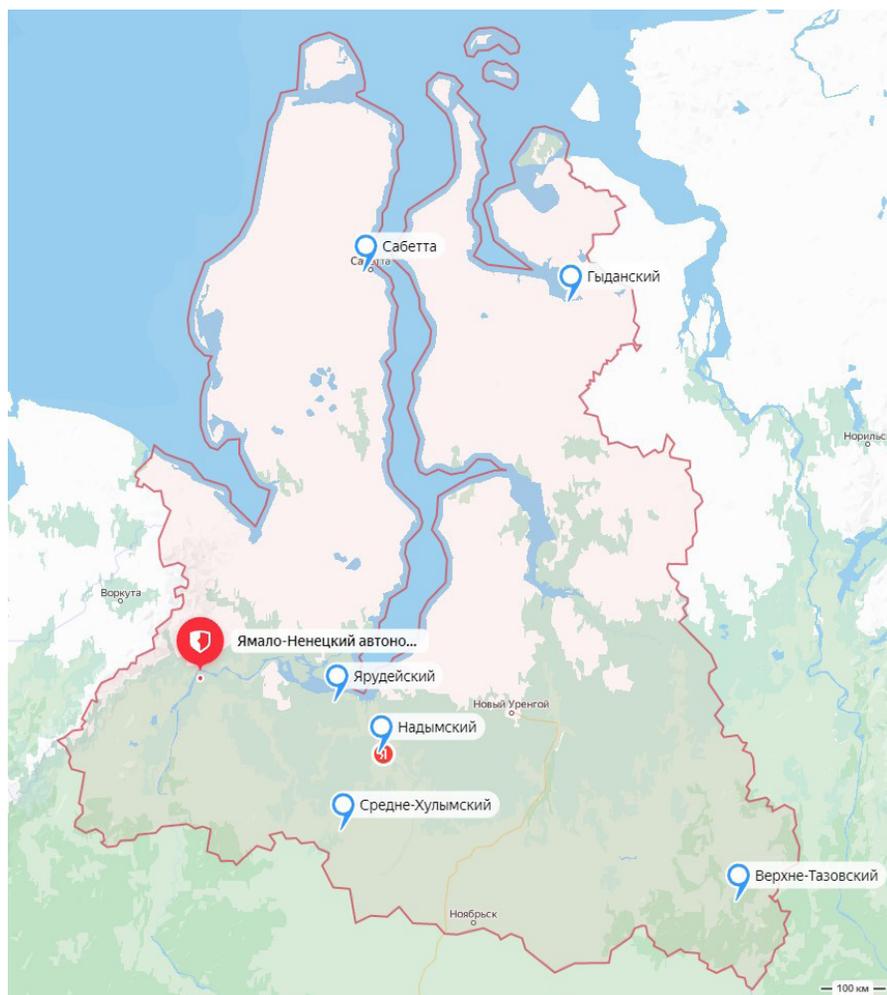


Рис. 1. Расположение полигонов на картосхеме ЯНАО

(*Ledum palustre* L. var. *decumbens* Aiton); надземные побеги трав (*Eriophorum angustifolium*, *Carex* sp.) и *Equisetum arvense* L.; мхи (Bryophyta); лишайники рода *Cladonia* sp. Лишайники - особые организмы, не являющиеся растениями. Опробование проводилось в середине вегетационного периода в сухую погоду. Для геохимических исследований в качестве показателей накопления элементов использовали вегетативные органы растений: листья (*Betula pubescens*, *Betula nana*, *Salix lanata*, *S. glauca*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Rhododendron tomentosum*, хвою (*Pinus sylvestris*), кору (*Larix sibirica*), надземную фитомассу трав, слоевище лишайников и мхов. Масса каждого образца составляла 0,2 кг. В лаборатории образцы были высушены до постоянной массы в сушильном шкафу ( $t=80^{\circ}\text{C}$ ), а затем измельчены в механической мельнице до порошкообразного состояния.

Таблица 1. Координаты отбора проб растений

Полигон	Условное обозначение участков внутри полигона	Координаты	
		Северная широта с. ш.	Восточная долгота в. д.
Гыданский	Гыд_1р	70°57'14.20"	78°33'24.81"
	Гыд_2р	70°51'35.14"	78°31'4.23"
	Гыд_3р	70°54'4.40"	78°32'34.53"
Верхне-Тазовский	Рат_1р	63°32'12.5"	83°50'57.5"
	Рат_2р	63°33'10.2"	83°51'31.7"
	Рат_3р	63°32'27.9"	83°53'8.3"
Надымский	Над_4р	65°35'47.83"	72°4'8.18"
	Над_5р	65°33'4.61"	72°4'1.03"
Сабетга	Саб_1р	71°6'51.74"	72°17'7.52"
	Саб_2р	71°14'18.70"	72°7'38.48"
	Саб_3р	71°15'1.96"	71°41'48.09"
Средне-Хулымский	Сх-1р	64°30'24.50"	71°5'56.50"
	Сх-2р	64°30'38.40"	71°09'33.70"
	Сх-3р	64°31'07.90"	71°12'17.30"
Ярудейский	Яр-1р	66°13'39.0"	70°57'7.2"
	Яр-2р	66°13'20.80"	70°56'24.30"
	Яр-3р	66°13'39.00"	70°57'7.20"

Определение элементного состава растений выполнялось с использованием рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа (РФАЭД) на спектрометре БРА 135-f (АО НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург). В пробах растений определялись содержания Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Y, V. Объем выборки составил 84 образца. Концентрации элементов рассчитаны на воздушно-сухое вещество.

Изучалась аналитическая  $K\alpha$  – линия (излучается при переносе электронов на первую ближайшую к ядру К - оболочку). Выбор аналитических линий для измерения интенсивности излучения элементов осуществлялся в соответствующем диапазоне длин волн. Интенсивность излучения хрома определялась в энергетическом диапазоне от 5,34 КэВ до 5,49 КэВ, кобальта – от 6,85 КэВ до 6,99 КэВ, никеля – от 7,40 КэВ до 7,55 КэВ, меди – от 7,96 КэВ до 8,12 КэВ, цинка - от 8,55 КэВ до 8,71 КэВ, галлия - от 9,16 КэВ до 9,33 КэВ, мышьяка - от 10,46 КэВ до 10,62 КэВ, иттрия - от 14,84 КэВ до 15,07 КэВ, ванадия - от 4,90 КэВ до 5,00 КэВ. Общая интенсивность излучения определялась, как сумма вторичного характеристического и первичного рассеянного излучений. Режим работы: для средней области – 19 кВ, 100 мкА; для тяжелой области – 50 кВ, 60 мкА. Использовался фильтр первичного излучения из циркония.

Для построения градуировочных характеристик использовались государственные стандартные образцы (ГСО): ЛБ-1 (состав листа березы); ЭК-1 (состав элодеи канадской); ТР-1 (состав травосмеси). Для оценки правильности результатов применяли стандартные образцы растений. Градуировочные и стандартные образцы готовились к РФАЭД таким же способом, что и исследуемые образцы растений. Значения пределов обнаружения устанавливали с помощью стандартных образцов с малым содержанием элемента: для Cr – 0,4 мг/кг, Co – 0,02 мг/кг, Ni – 0,3 мг/кг, Cu – 0,4 мг/кг, Zn – 1,1 мг/кг, Ga – 0,02 мг/кг, As – 0,02 мг/кг, Y – 0,02 мг/кг, V – 0,09 мг/кг. Величина ошибки (воспроизводимость результатов) для изученных элементов варьировала от 5% до 10%.

Статистическая обработка аналитических данных включала определение  $M$  – среднего значения,  $SD$  – стандартного отклонения, коэффициента концентрации, рассчитанного как отношение фактического содержания определяемого вещества в точке опробования и его содержания в аналогичной среде на фоновом участке.

### *Результаты и обсуждение*

Тяжелые металлы являются основными маркерами техногенного воздействия на экосистемы. Изучены уровни накопления в растениях тяжелых металлов и металлоидов. Медь, цинк и мышьяк относятся к халько-

фильным элементам, кобальт и хром – сидерофильные элементы. Накопление элементов связано с их разной подвижностью в условиях ландшафтов кислого и глеевого классов водной миграции. Наиболее активные мигранты, легко переходящие в водные растворы и активно накапливающиеся живыми организмами – это элементы халькофильной группы [8].

*Мышьяк (As).* Биологическая роль As изучена слабо. Токсичность As по отношению к растениям оценивается как сильная. Она связана с его способностью конкурировать с жизненно важными элементами Fe и P [9]. As является водным мигрантом. Основной путь его поступления в растение происходит через корневую систему [10]. Среднее содержание (кларк) для As растений составляет 0,2 мг/кг [8], 0,1 мг/кг [11]. Показано, что концентрация As в растениях, не влияющая на их нормальный рост и развитие составляет 1–17 мг/кг, токсичная (избыточная) концентрация – 5–20 мг/кг [12]. Критическая концентрация As в сельскохозяйственных растениях равна 20 мг/кг [13]. As в критических концентрациях чаще всего накапливается в корнях и листьях [14].

Содержания As в образцах растений фоновых полигонов варьировали от 0,02 мг/кг до 0,55 мг/кг.

*Цинк (Zn).* Цинк – с одной стороны, это тяжелый металл, который в высоких концентрациях токсичен для живых организмов, а в следовых количествах необходим для метаболизма, роста и развития растения [15]. Zn входит в состав многих ферментов, регулирующих метаболизм растений, участвующих в процессе фотосинтеза, дыхания, белкового, углеводного обменов [16]. Содержание Zn в растениях колеблется от 20 до 240 мг на 1 кг сухого вещества [17]. Согласно данным В.В. Ковальского и соавторов [18], пределы колебаний Zn в растениях распределяются на недостаточные количества (менее 20 мг/кг), достаточные (20–60 мг/кг) и избыточные (более 60 мг/кг).

Содержание Zn в значительной степени зависит от видовой принадлежности растений. На территории полигона «Верхне-Тазовский» максимальное накопление Zn выявлено в листьях *Betula pubescens* – 231,1 мг/кг. На полигоне «Гыданский» значительные концентрации Zn установлены в двух растительных образцах: листья *Betula nana* (диапазон значений от 163,9–177,3 мг/кг) и в листьях *Salix lanata* (94,2 – 265,1 мг/кг). В четырех растительных образцах полигона «Надымский» также отмечено накопление Zn: в листьях *Betula pubescens* – 133,7 мг/кг, листьях *B. nana*– 142,6 мг/кг, листьях *Salix lanata* – 67,9 мг/кг, надземных побегах трав – 61,5 мг/кг.

*Хром (Cr)* относится к биогенным элементам. По данным А.Т. Щеглова [19], небольшие концентрации Cr (0,05 – 0,0005%) стимулируют активность каталазы и протеолиз. Cr повышает содержание хлорофилла и продуктивность фотосинтеза в листьях [20]. Высокие концентрации Cr могут вызывать торможение роста корневой системы растений, снижение сы-

рого и сухого веса, изменение цвета корней, уменьшение количества листьев, площади ассимиляционной поверхности, возникновение хлорозов и некрозов [21]. Сг может поступать в растения через корневую систему и листья. Оптимальными значениями рН почвы для его поглощения является интервал 5,4–6,1. Содержание Сг в высших растениях изменяется в широких пределах и в значительной степени зависит от их таксономической принадлежности и фазы развития. ПДК Сг для растений составляет от 0,1 до 2 мг/кг сухой массы [22]. В растительных образцах всех фоновых полигонов наблюдается накопление Сг. Максимальное содержание Сг отмечено в *Equisetum arvense* полигона «Верхне-Тазовский» (Рат-03) (7,41 мг/кг). Низкие содержания Сг (ниже предела обнаружения) зафиксированы у лишайников рода *Cladonia* sp. полигонов «Верхне-Тазовский» (Рат-01) и «Гыданский» (Гыд-03р), и Bryophyta полигонов «Верхне-Тазовский» (Рат-03) и «Гыданский» (Гыд-01р).

**Кобальт (Co).** В природе данный элемент распространен мало. В земной коре его содержится около 0,004% (по массе). Со встречается в соединениях с мышьяком в виде минералов кобальтового шпейса и кобальтового блеска. Основную функцию Со связывают с его участием в фиксации атмосферного азота в клубеньках растений. Установлено влияние Со на формирование и функционирование фотосинтетического аппарата растений путем концентрации хлоропластов и пигментов в листьях [23]. Во всех растительных образцах фоновых полигонов содержание Со ниже предела обнаружения, за исключением Bryophyta и лишайников рода *Cladonia* sp. Максимальное накопление Со установлено в количестве 11,57 мг/кг в Bryophyta на полигоне Гыданский (Гыд-02р).

**Никель (Ni).** В микродозах положительно влияет на рост и ферментативную активность растений, а также необходим для нормальной жизнедеятельности организма животных. При концентрациях ниже фитотоксичного уровня, согласно экспериментальным данным ряда авторов, Ni способен увеличивать урожай многих культур. Его дефицит в почве вызывает специфические заболевания растений, снижает урожай, ухудшает его качество [24]. Максимальное накопление Ni отмечено в образцах листьев *Betula pubescens* (13,15 мг/кг) фонового полигона «Верхне-Тазовский» (Рат-01) и в листьях *Salix lanata* (14,37 мг/кг) полигона «Гыданский» (Гыд-02р). Среднее значение содержания Ni, рассчитанное для всех растительных образцов фоновых полигонов, составляет  $4,39 \pm 2,95$  мг/кг. Минимальное содержание никеля отмечено в лишайниках рода *Cladonia* sp. (на уровне предела обнаружения) полигона «Гыданский» (Гыд-03р).

**Медь (Cu).** Медь играет значительную роль в физиологии растений: фотосинтезе, дыхании, перераспределении углеводов, восстановлении и фиксации азота, метаболизме протеинов, образовании ДНК и РНК. Содержание Cu менее 2 мг/кг рассматривается как неблагоприятное для

большинства растений, 5-30 мг/кг – достаточная, нормальная концентрация, 20-100 мг/кг – избыточная концентрация [12]. В большинстве растительных проб фоновых полигонов зафиксированы содержания Си на уровне пределов обнаружения. Значительные концентрации Си выявлены в Bryophyta полигонов «Верхне-Тазовский» (Рат-02), «Гыданский» (Гыд-01р, Гыд-02р) (75,41; 37,11 и 47,36 мг/кг соответственно).

*Ванадий (V)*. Соединения V широко распространены в природе, но распылены и не образуют значительных скоплений. V увеличивает интенсивность процессов фотосинтеза и дыхания, способствует повышению содержания в листьях хлорофилла и белка. Растворимый V легко поглощается корневой системой растений. Некоторые виды растений способны активно концентрировать данный металл [25]. Максимальная концентрация ванадия зафиксирована в образцах Bryophyta полигонов «Гыданский» и «Верхне-Тазовский» (от 1,65 мг/кг до 9,39 мг/кг). В остальных растительных образцах концентрации V не превышали минимальных значений (0,09 мг/кг).

*Галлий (Ga)* – типичный рассеянный элемент. Ga является постоянным спутником Al благодаря близости химических свойств, ионных радиусов и потенциалов ионизации. Значение этого элемента для жизнедеятельности растений до конца не изучено. Содержание Ga в растительных тканях составляет 0,0-5,5 мг/кг сухой массы травянистых растений [26].

Концентрации Ga варьировали от 0,001 мг/кг до 0,60 мг/кг в образцах растений фоновых полигонов.

*Иттрий (Y)*. Относится к числу редкоземельных химических элементов. Своими свойствами он подобен La и лантаноидам. Биологическая роль Y изучена слабо, хотя он встречается во всех организмах. Содержание Y в пищевых растениях составляет 0,01–3,5 мг/кг, в лишайниках может накапливаться в концентрациях от 0,2 мг/кг до 2,0 мг/кг, в мхах – от 1,3 мг/кг до 7,5 мг/кг [27].

Максимальное содержание Y составляет 3,49 мг/кг в растительном образце *Equisetum arvense* полигона «Верхне-Тазовский» (Рат-02).

Концентрации элементов в значительной степени зависят от видовой принадлежности растений (табл. 2). Концентраторами Со являются *Cladonia* sp., Bryophyta, Ni – *Betula pubescens*, *B. nana*, *Salix lanata*, Cu – Bryophyta и *Larix sibirica*, Zn – *Betula pubescens*, *B. nana*, *Salix lanata*. Bryophyta и *Cladonia* sp. наиболее интенсивно накапливают Ga. Накопителями Y являются надземные побеги трав, *Equisetum arvense*, Bryophyta и *Cladonia* sp., V - Bryophyta и *Cladonia* sp.

Таблица 2. Среднее содержание элементов в растениях фоновых полигонов

Растения	Стат. хар-ка	Концентрации мг/кг								
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Y	V
Деревья лиственные										
<i>Betula pubescens</i>	M	4,8	п/о	9,3	п/о	166,8	0,03	0,05	0,08	п/о
	SD	0,9	-	1,7	-	33,1	0,02	0,03	0,12	-
Деревья хвойные										
<i>Pinus sylvestris</i>	M	5,8	п/о	3,9	п/о	44,7	0,04	0,04	п/о	п/о
	SD	0,6	-	0,2	-	5,2	0,02	0,03	-	-
<i>Larix sibirica</i>	M	6,4	п/о	3,0	3,45	25,9	0,03	п/о	п/о	п/о
	SD	0,4	-	0,9	4,72	16,1	0,02	-	-	-
Кустарники и кустарнички										
<i>Salix lanata</i> <i>Betula nana</i>	M	6,1	0,83	7,2	п/о	136,6	0,07	0,12	0,17	п/о
	SD	1,1	1,10	3,9	-	62,8	0,04	0,07	0,19	-
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	M	4,9	п/о	2,9	0,36	27,8	0,04	п/о	0,11	п/о
	SD	1,1	-	0,3	0,12	4,2	0,04	-	0,20	-
Травянистые растения										
надземные побеги трав	M	6,7	п/о	4,1	п/о	44,5	0,06	0,13	0,71	п/о
	SD	0,5	-	0,7	-	16,2	0,07	0,19	1,27	-
Мхи и лишайники										
<i>Cladonia</i> sp. Bryophyta	M	2,8	3,46	2,5	14,83	28,2	0,21	0,11	0,32	3,22
	SD	1,91	3,35	1,3	23,96	18,3	0,16	0,13	0,47	2,94

Наиболее активными концентраторами Cr на естественных ландшафтах являются надземные побеги трав, кора *Larix sibirica*, лист *Salix lanata*.

Выявлены некоторые особенности в накоплении элементов растениями разных жизненных форм. Наблюдается значительное обогащение лиственных деревьев и кустарников Zn и Ni, хвойных деревьев - Cr, кустарников - Cr и As. Травянистые растения по сравнению с древесными интенсивнее накапливают Cr, As и Y. Лишайники и мхи характеризуются накоплением Co, Cu, Ga, As, Y, V.

Коэффициенты концентрации элементов в растениях относительно средних показателей (с учетом видовой специфичности) представлены в таблице 3. Установлено значительное накопление Cu в надземных побегах трав Ярудейского, Средне-Хулымского и Южно-Тамбейского месторождений, в кустарничках «Средне-Хулымского» полигона и *Salix glauca* полигона «Сабетта». В растениях, произрастающих в зоне воздействия нефтегазодобычи, возрастает содержание Cu, Co, Ga, As, Y и V относительно растений естественных ландшафтов.

Таблица 3. Коэффициенты накопления элементов в растениях антропогенных ландшафтов

Название растения	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Y	V
Полигон «Средне-Хулымский»									
<i>Ledum palustre</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1,1	1,0	1,1	28,6	0,9	2,1	5,8	3,0	1,0
<i>Larix sibirica</i>	0,7	1,0	1,1	0,1	0,9	4,6	1,0	1,0	0,3
<i>Pinus sylvestris</i>	1,0	1,0	0,8	1,0	0,7	0,0	0,5	1,0	1,0
<i>Betula pubescens</i>	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	2,7	0,4	2,3	1,0
<i>Betula nana</i>	0,8	0,0	0,9	15,5	0,8	0,8	0,2	1,7	1,0
надземные побеги трав	0,7	1,0	1,0	57,6	1,3	0,7	0,2	0,0	1,0
Полигон «Ярудейский»									
<i>Larix sibirica</i>	0,5	16,7	0,6	1,5	0,4	2,8	1,0	1,0	8,0
<i>Rhododendron tomentosum</i>	0,7	17,4	0,9	4,7	0,7	1,6	0,9	1,8	8,5
<i>Betula pubescens</i>	1,2	1,0	0,7	1,0	0,7	6,9	0,4	4,8	1,0
<i>Betula nana</i>	0,8	0,5	0,9	57,2	0,9	0,3	0,2	1,5	0,8
надземные побеги трав	1,0	10,7	0,7	136,0	0,7	1,2	1,5	3,0	1,0
Полигон «Сабетта»									
<i>Salix glauca</i>	0,0	1,2	1,1	41,6	1,1	0,8	1,0	0,9	11,5
надземные побеги трав	0,9	1,0	1,3	36,3	1,6	1,1	0,5	0,0	1,0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	3,7	6,6	0,2	1,0

Существует проблема выявления аэротехногенного потока поллютантов, связанного с функционированием нефтегазодобывающего комплекса [4]. Известно, что содержание тяжелых металлов в тканях лишайников в значительной степени зависит от интенсивности выпадений пылевых и аэрозольных частиц [28]. Учитывая, что фоновые участки, расположенные на территории Верхне-Тазовского заповедника и полуострова Гыданский, и участки промышленного освоения (Сабетта, Ярудейский, Средне-Хулымский) расположены в исходно разных эколого-геохимических условиях, для оценки влияния техногенного фактора проведено сопоставление химического состава лишайников на фоновом участке «Надымский» и техногенно-нагруженных участках «Ярудейский» и «Средне-Хулымский».

Анализ химического состава образцов лишайников на лицензионном участке «Ярудейский» показал статистически более высокие концентрации кобальта, меди, цинка, галлия, иттрия и ванадия по сравнению с фоном (табл. 4). В изученных образцах лишайников, отобранных на техногенных ландшафтах Средне-Хулымского участка, содержания тяжелых металлов не превышали фоновые величины.

Таблица 4. Среднее содержание тяжелых металлов (мг/кг воздушно-сухой массы) в лишайниках фоновых и антропогенно нарушенных полигонов

ХЭ	Фон M±SD	Средне-Хулымский M±SD	Ярудейский M±SD
Cr	4,5±0,7	4,7±0,4	0,4±0,0
Co	0,86±0,49	0,02±0,0	5,62±2,75**
Ni	1,3±0,3	1,6±0,3	2,0±0,7
Cu	0,4±0,0	0,4±0,0	12,8±8,9**
Zn	8,8±0,7	3,9±2,4	32,3±10,1**
Ga	0,11±0,11	0,15±0,03	0,32±0,10*
As	0,02±0,0	0,04±0,02	0,05±0,04
Y	0,02±0,0	0,02±0,0	0,73±0,43**
V	0,09±0,0	0,09±0,0	4,38±2,97**

Примечание: M — среднее значение, SD - стандартное отклонение, \* p<0,05, \*\* p<0,

Исследованиями М.Г. Опекуновой и соавт. [5] установлено, что вблизи шламовых амбаров в растениях повышены содержания Cu, Ni, Cr, V, Co, в районе установки комплексной подготовки газа наблюдаются повышенные содержания Cr, V, Co. Показателями общего загрязнения при освоении месторождений служат повышенные концентрации Zn, Ni, Pb, Cd, Co в надземной биомассе растений.

По нашим данным аккумуляция Cu в растениях техногенно-нарушенных полигонов отмечается повсеместно. Прослеживается закономерность более высоких концентраций Cu в надземных побегах трав. Содержание Cu в травах составляет от 84,1 мг/кг на Ярудейском месторождении, 40,0 мг/кг на Средне-Хулымском месторождении, до 28,6 мг/кг на Южно-Тамбейском месторождении. Известно, что содержание Cu более 20 мг/кг считается избыточной концентрацией [12].

Максимальное загрязнение лишайников тяжелыми металлами Cu, Co, Zn, Ga, Y и V зафиксировано на полигоне «Ярудейский». Ярудейское нефтегазоконденсатное месторождение было введено в эксплуатацию в 2015 году. В настоящее время добыча нефти на месторождении составляет 9,7 тыс. тонн в сутки. Тяжелые металлы нефтяного происхождения попадают в окружающую среду в процессе добычи и транспортировки нефти, разливов и сжигания нефти. В местах добычи нефти почвы загрязняются компонентами минерализованных промывных стоков, буровых растворов и шламов, обогащенных Ca, Fe, Mn, Pb, Sn, Cu и Ba. В состав нефти, пластовых и буровых вод входят V, Cu, Ni, Cr, Zn, Y — редкоземельный малоизученный элемент, выявляемый в верхнем битуминозном слое торфа, загрязненного нефтью. В районах нефтедобычи образуются сильные техногенные аномалии. Основным механизмом загрязнения раститель-

ности является поступление микроэлементов в растения из нарушенного почвенного покрова, а также аэротехногенный перенос. Результаты исследования согласуются с данными других авторов, повышенные концентрации V, Cu, Co, Zn выявляются на локальном уровне при непосредственном воздействии объектов нефтегазодобычи [5].

### Заключение

В результате выполненных исследований установлены фоновые содержания тяжелых металлов и мышьяка в растениях и выявлена эколого-геохимическая специфика природных ландшафтов, которая выражается в повышенном содержании Ni, Cr, Zn, Ga и более низким – Co, Cu.

Изучена межвидовая биогехохимическая специализация растений в отношении способности аккумулировать тяжелые металлы. Показаны максимальные различия в содержании биогенного элемента в древесных растениях – Zn. Интенсивность накопления химических элементов в среднем по всем изученным растительным образцам убывает в следующем порядке: Zn>Cr>Ni>Cu>Co>V>Y>Ga>As. Для лиственных деревьев порядок расположения химических элементов отличается более высокими концентрациями Ni и более низкими концентрациями Co: Zn>Ni>Cr>Cu>V>Y>As>Ga>Co. Для хвойных деревьев такой ряд имеет следующий вид: Zn>Cr>Ni>Cu>V>Ga=As>Co>=Y. Накопление Y и As выше, а Co ниже в надземных побегах трав относительно фоновых показателей: Zn>Cr>Ni>Y>Cu>As>V>Ga>Co, в лишайниках и мхах выше содержание Cu, Co, V и ниже Cr и Ni: Zn>Cu>Co>V>Cr>Ni>Y>Ga>As.

Установлены виды растений, которые наиболее интенсивно накапливают тяжелые металлы (виды-концентраторы): *Larix sibirica* (кора, Cr), *Salix glauca* (лист, Cr), Bryophyta (Co, Cu, Ga, Y, V), *Betula pubescens* (Zn, Ni), *B. nana* (Zn, Ni), *Salix glauca* (Zn, Ni), *Larix sibirica* (Cu), а также *Cladonia* sp. (Co, Cu, Ga, Y, V).

Растения антропогенных ландшафтов в большей степени накапливают Co, Cu, Zn, Y, Ga и V. Необходимо более широко использовать растения в диагностике техногенной трансформации ландшафтов.

### Список источников

1. Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности южного Приморья и видоспецифичность арборифлоры в накоплении тяжелых металлов. Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 76-88.
2. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю. Оценка трансформации природной среды в районах разработки угле-

- водородного сырья на севере Западной Сибири// Сиб. экол. журн. 2018. № 1. С. 122-138.
3. POWO (2022). "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew". Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.plantsoftheworldonline.org/>. Дата обращения 24 марта 2022 г.
  4. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири// Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. № 11. С. 162-172.
  5. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю. Влияние природных и антропогенных факторов на химический состав растений севера Западной Сибири// Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: труды XI Международной биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения Виктора Владиславовича Ковальского, в 2 томах. 2019. С. 196-200.
  6. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности почв бассейна реки Мессояха (Газовский район Ямало-Ненецкого автономного округа) // Вестн. ТюмГУ. Экология и природопользование. 2016. Т. 2. № 2. С. 8-21.
  7. Агбалян Е.В., Колесников Р.А., Печкин А.С., Моргун Е.Н., Красненко А.С., Ильясов Р.М., Локтев Р.И., Шинкарук Е.В. Экологическое состояние почв полигонов комплексного экологического мониторинга «Сабетта», «Харп», «Надымский» Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный Вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. № 4 (101). Салехард, 2018. С. 5-12.
  8. Московченко Д.В. Геохимические особенности ландшафтов бассейна р. Казым// Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 12. С. 124-139.
  9. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых: пер. с англ. М.: Недра, 1986. 311 с.
  10. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. школа, 1975. 342 с.
  11. Федорчук В.П. Минеральное сырьё. Мышьяк: справочник. М.: «Геоинформмарк», 1999. 23 с.
  12. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях/ пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
  13. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат: Ленинградское отд-ние, 1987. 142 с.
  14. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А., Лушникова А.Ю. Мышьяк в растениях природной геохимической аномалии Забайкальского края (на примере Шерловогорского рудного района) / Ученые записки ЗабГГПУ. 2012. № 1 (42). С. 79-86.

15. Иванова Е.М., Холодова В. П., Кузнецов Вл. В. Биологические эффекты высоких концентраций солей меди и цинка и характер их взаимодействия в растениях рапса / Физиология растений. 2010. Том 57. № 6. С. 864-873.
16. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.
17. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. Изд-во: Рипол Классик, 2013. 338 с.
18. Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И. Микроэлементы в растениях и кормах. М.: Колос, 1971. 235 с.
19. Щеглов А.Т. Влияние хрома на некоторые физиологические показатели у кукурузы/ А.Т.Щеглов// Применение удобрений, микроэлементов и регуляторов роста в сельском хозяйстве: научные труды Ставропольского сельскохозяйственного института. В. 44. Т. 1. Ставрополь, 1981. С. 35-40.
20. Протасова Н.А. Техногенное воздействие на химический и физико-химический состав лугово-сероземных почв/ Н.А. Протасова, М.Г. Копаева, Г.Б. Шелаева// Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 272-278.
21. Бессонова В. П., Иванченко О. Э. Накопление хрома в растениях и его токсичность// Вопросы биоиндикации и экологии. Запорожье: ЗНУ, 2011. Вып. 16. № 2. С. 35-52.
22. Saurbeck D. Welche Schwermetallgehalte in pflanzen daften nicht berschritten warden um Wachstumsbee interdchtigungen zu vermeiden?/ D. Saurbeck / Landwirtsch aftiche Forschung Kongressband. S-N. 16. 1982. S. 59-72.
23. Битюцкий Н.П. Микроэлементы и растение. Учебное пособие. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1999. 232 с.
24. Синдирева А.В., Скудаева Е.А., Кожевина М.Н. Трубина Н.К. Никель и качество урожая кормовых культур. Сельскохозяйственные науки. 2015. С. 15-19.
25. Анспок П.И. Микроудобрения: Справочник. 2-е издание, переработанное и дополненное. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1990. 272 с.
26. Duddy I.R. Redistribution and fractionation of rare-earth and other elements in a weathering profile // Chem. Geol. 1980. 30. 363 p.
27. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements / Academic. Press, New York. 1979. 333 p.
28. Рапута В.Ф., Смоляков Б.С., Куценогий К.П. и др. Анализ временной динамики изменения состава атмосферного аэрозоля на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2000. № 1. С. 97-102.

*References*

1. Shikhova N.S. Ecological and geochemical features of the vegetation of southern Primorye and arboriflora species specificity in the accumulation of heavy metals. *Siberian Forest Journal*. 2017. №6. P. 76-88.
2. Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Arestova I.Yu. Evaluation of environmental transformation in areas of hydrocarbon deposits in the North of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*. 2018. Vol. 11. № 1. P. 122-138.
3. POWO (2022). *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://www.plantsoftheworldonline.org/> Accessed on March 24, 2022.
4. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I. Content of heavy metals in lichens of West Siberian North. *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*. 2011. № 11. P. 162-172.
5. Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Arestova I.Yu. Influence of natural and anthropogenic factors on the chemical composition of plants of the North of Western Siberia // *Biogeochemistry – the scientific basis of sustainable development and preservation of human health: proceedings of the XI International Biogeochemical School dedicated to the 120th anniversary of the birth of Viktor Vladislavovich Kovalsky in 2 volumes*. 2019. P. 196-200.
6. Moskovchenko D.V. Biogeochemical features of the soils of Messoyakha river basin (Tazovsky region of the Yamal-Nenets Autonomous District) // *Tyumen State University Herald. Ecology and nature management*. 2016. Vol. 2. № 2. P. 8-21.
7. Agbalyan E.V., Kolesnikov R.A., Pechkin A.S., Morgun E.N., Krasnenko A.S., Ilyasov R.M., Loktev R.I., Shinkaruk E.V. Environmental state of soils in polygons of complex ecological monitoring “Sabetta”, “Kharp” and “Nadymsky” of the Yamal-Nenets Autonomous District // *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*. № 4. (101). Salekhard, 2018. - P. 5-12.
8. Moskovchenko D.V. Geochemical features of landscapes of the Kazym river basin. *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*. 2012. № 12. P. 124-139.
9. Brooks R.R. *Biological methods of prospecting for minerals* / translated from English. Moscow: Nedra, 1986. 311 p.
10. Perelman A.I. *Geochemistry of landscape*. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 342 p.
11. Fedorchuk V.P. *Mineral raw materials. Arsenic: handbook*. Moscow: “Geoinformmark”, 1999. 23 p.
12. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants* / translated from English. Moscow: Mir, 1989. 439 p.

13. Alekseev Yu.V. Heavy metals in soils and plants. Leningrad: Agropromizdat: Leningrad Publishing House, 1987. 142 p.
14. Solodukhina M.A., Yurgenson G.A., Lushnikova A.Yu. Arsenic in plants of a natural geochemical anomaly in the Zabaikalsky krai (illustrated by Sherlovogorsky ore area) / Scientific notes of Zabaikalsky State University of Humanities and Pedagogy. 2012. № 1 (42). P. 79-86.
15. Ivanova E.M., Kholodova V.P., Kuznetsov V.V. Biological effects of high copper and zinc concentrations and their interaction in rapeseed plants. Russian Journal of Plant Physiology. 2010. Volume 57. №. 6. P. 864-873.
16. Shkolnik M.Ya. Trace elements in plant life. Leningrad: Nauka, 1974. 324 p.
17. Katalymov M.V. Trace elements and trace fertilizers. Publishing house: Ripol Classic, 2013. 338 p.
18. Kovalsky V.V., Raetskaya Yu.I., Gracheva T.I. Trace elements in plants and feed. Moscow: Kolos, 1971. 235 p.
19. Shcheglov A.T. The effect of chromium on some physiological parameters in corn / A.T. Shcheglov. Application of fertilizers, trace elements and growth regulators in agriculture: scientific works of the Stavropol Agricultural Institute. Issue 44. Vol. 1. Stavropol, 1981. P. 35-40.
20. Protasova N.A. Technogenic impact on the chemical and physico-chemical composition of meadow-gray soils / N.A. Protasova, M.G. Kopaeva, G.B. Shelaeva // Migration of pollutants in soils and adjacent environments. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989. P. 272-278.
21. Bessonova V.P., Ivanchenko O.E. Accumulation of chromium in plants and its toxicity // Issues of bioindication and ecology. Zaporizhzhia: Zaporizhzhia National University, 2011. Issue 16. №. 2. P. 35-52.
22. Saurbeck D. Which heavy metal levels in plants should not be exceeded in order to avoid growth interruptions? / D. Saurbeck / Agricultural Research Conference Proceedings. S-H. 16. 1982. P. 59-72.
23. Bitvutsky N.P. Trace elements and plant. Study guide. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 1999. 232 p.
24. Sindireva A.V., Skudaeva E.A., Kozhevina M.N., Trubina N.K. Nickel and quality of fodder crops. Agricultural sciences. 2015. № 1(17). P. 15-19.
25. Anspok P.I. Trace fertilizers: Handbook. 2nd edition, revised and expanded. Agropromizdat. Leningrad Branch, 1990. 272 p.
26. Duddy I.R. Redistribution and fractionation of rare-earth and other elements in a weathering profile // Chem. Geol. 1980. 30. 363 p.
27. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements / Academic. Press, New York. 1979. 333 p.
28. Raputa V.F., Smolyakov B.S., Kutsenogiy K.P. [et al.]. Analysis of the temporal dynamics of changes in the composition of atmospheric aerosol in the north of Western Siberia // Siberian Ecological Journal. 2000. № 1. P. 97-102.

---

*Сведения об авторах*

---

**Агбалян Елена Васильевна** окончила Тюменский государственный медицинский институт по специальности «фармация» в 1986 году. В 2005 году защитила докторскую диссертацию по специальности «гигиена» в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН (г. Москва), доктор биологических наук, профессор РАЕН, заслуженный деятель науки Ямало-Ненецкого автономного округа. Сфера научных интересов: экология человека, биогеохимия, гидрохимия, Арктика.

**Шинкарук Елена Владимировна** в 2000 году окончила биологический факультет Тюменского государственного университета по специальности «биология», научный сотрудник химико-аналитической лаборатории ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Область научных интересов: экология, биология, лабораторные исследования, генетика.

**Печкин Александр Сергеевич**, 1990 г.р., окончил в 2013 году географический факультет Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского по специальности «эколог-природопользователь». Научный сотрудник сектора охраны окружающей среды ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Область научных интересов: экология, геоэкология, почвоведение, гидробиология.

**Красненко Александр Сергеевич**, 1981 г.р., окончил в 2003 году Ишимский государственный институт им. П.П. Ершова по специальности «учитель биологии и географии», старший научный сотрудник сектора охраны окружающей среды ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Кандидат биологических наук. Научные интересы: гидробиология, зоология, функционирование пресноводных экосистем.

**Письмаркина Елена Васильевна** окончила в 2001 г. биолого-химический факультет Мордовского государственного педагогического института им. М.Е. Евсевьева по специальности «биология». Старший научный сотрудник лаборатории экспериментальной экологии и акклиматизации растений ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН» (Екатеринбург, Россия). Кандидат биологических наук. Научные интересы: география растений Среднего Поволжья, Урала и севера Западной Сибири.

---

*Участие авторов*

---

Агбалян Е.В. – разработка концепции и дизайна работы, анализ и интерпретация результатов исследования, написание текста;

Шинкарук Е.В. – получение данных для анализа, написание текста;

Печкин А.С. – сбор материала для исследования, работа с текстом;

Красненко А.С. – сбор материала для исследования;

Письмаркина Е.В. — определение видов растений, работа с гербарием, работа с текстом.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

### *Information about the authors*

---

**Elena Vasilievna Agbalyan**, graduated from the Tyumen State Medical Institute in 1986 with a degree in pharmacy. In 2005, she defended her doctoral dissertation on hygiene at the A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Russian Academy of Medical Sciences (Moscow), Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Scientist of the Yamal-Nenets Autonomous District. Research interests: human ecology, biogeochemistry, hydrochemistry, the Arctic.

**Elena Vladimirovna Shinkaruk**, graduated from the Tyumen State University with a degree in Biology in 2000, researcher at the chemical-analytical laboratory of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, biology, laboratory research, genetics.

**Alexander Sergeevich Pechkin**, born in 1990, graduated from the Faculty of Geography of the Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky with a degree in Environmental Management in 2013. Researcher of the Environmental Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, geocology, soil science, hydrobiology.

**Alexander Sergeevich Krasnenko**, born in 1981, graduated from the Ishim State Pedagogical Institute named after P.P. Ershov in 2003 with a teacher of biology and geography degree. Senior researcher of the Environmental Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia), Candidate of Biological Sciences. Research interests: hydrobiology, zoology, functioning of aquatic ecosystems.

**Elena Vasilievna Pismarkina**, graduated from the Faculty of Biology and Chemistry of the Mordovian State Pedagogical Institute named after M.E. Evseev in 2001 with a degree in Biology. Senior researcher of the Laboratory of Experimental Ecology and Acclimatization of Plants, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russia). Candidate of Biological Sciences. Research interests: plant geography of the Middle Volga region, the Urals and the north of Western Siberia.

---

***Authors Contribution***

---

E.V. Agbalyan – development of the concept and design of the work, analysis and interpretation of the research results, writing the text;

E.V. Shinkaruk – obtaining data for analysis, writing the text;

A.S. Pechkin – collection of material for research, work with the text;

A.S. Krasnenko – collection of material for research;

E.V. Pismarkina – identification of plant species, work with herbarium, work with the text.

All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022 г., принята к публикации 30.09.2022 г.

The article was submitted on May 12, 2022, accepted for publication on September 30, 2022.