

**BIOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE MAIN PLANTS AT THE NADYM DISTRICT'S REINDEER PASTURES (YAMAL-NENETS AUTONOMOUS OKRUG)**

*E.V. Agbalyan<sup>1</sup>, E.A. Zarov<sup>2</sup>, I.V. Filippov<sup>2</sup>, Yu.A. Pechkina<sup>1</sup>, E.V. Shinkaruk<sup>1</sup>, K.V. Yulbarisova<sup>1</sup>, N.A. Khnycheva<sup>1</sup>, E.D. Lapshina<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> State Public Institution of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug «Scientific Research Centre of the Arctic»;

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Yugorsk State University”

*Автор для переписки:* E.V. Agbalya, e-mail: agbelena@yandex.ru

**Citation:** 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. V. 12. N 1. P. 27–41. DOI: <https://doi.org/10.17816/edgcc41876>

На фоновых участках нефтегазоносных районов севера Западной Сибири в пределах северной тайги, лесотундры и южной тундры изучен элементный состав широко распространенных модельных видов древесных пород (*Betula pubescens*, *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*), кустарников *Salix lanata*, кустарничков (*Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre* s. l.), трав (*Eriophorum angustifolium*, *Equisetum arvense*) и лишайников (*Cladonia stellaris*, *Cladonia stygia*). Приведены данные о содержании Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Y, V, Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, S, полученные с использованием метода рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа.

Выявлены биогеохимические особенности растений, изучена их видовая геохимическая специализация. Наибольшее различие уровня аккумуляции между разными видами растений обнаружено для Ni, Zn, Ca, Mn, S и Si. Проведен анализ коэффициентов биологического накопления химических элементов в растениях относительно локального фонового содержания элементов в почвах ЯНАО. Статистические достоверные различия в накоплении элементов растениями в разных биоклиматических зонах выявлены для Cu, Fe, Co, Cr, As, Mg, V, Y.

Изученные растения по критериям экологической безопасности и содержанию нормируемых микро- и макроэлементов соответствуют требованиям, предъявляемым к кормовым растениям. Исключение составляет низкий уровень содержания биогенных элементов Co, Na и K. Для профилактики заболеваний животных, связанных с дефицитом эссенциальных элементов, необходимо оптимизировать рацион питания оленей путём обогащения кормов биологически активными веществами и макро- и микроэлементами.

**Ключевые слова:** растения; химические элементы; видовая специфика; биогенные элементы; олени; пастбища; экологическая безопасность; Надымский район; ЯНАО; Западная Сибирь.

**ВВЕДЕНИЕ**

Растения — это важнейший компонент биосферы и звено трофической цепи в биогеохимической миграции макро- и микроэлементов из горных пород и почв в живые организмы. Природная неоднородность химического состава среды и интенсивная хозяйственная деятельность человека приводят к дисбалансу биологически активных веществ в растениях, кормах и организме животных [Битюцкий, 2011; Позов, Орлова, 2012].

Одним из источников поступления в организм животных токсичных веществ являются кормовые растения. В условиях антропогенного загрязнения отмечается увеличение интенсивности вовлечения тяжелых металлов в биологический круговорот [Опекунова, 2019]. Многие химические элементы обладают способностью

к аккумуляции в организме животных, оказывают токсическое воздействие и приводят к появлению специфической заболеваемости — микроэлементозам [Авцын, 1972].

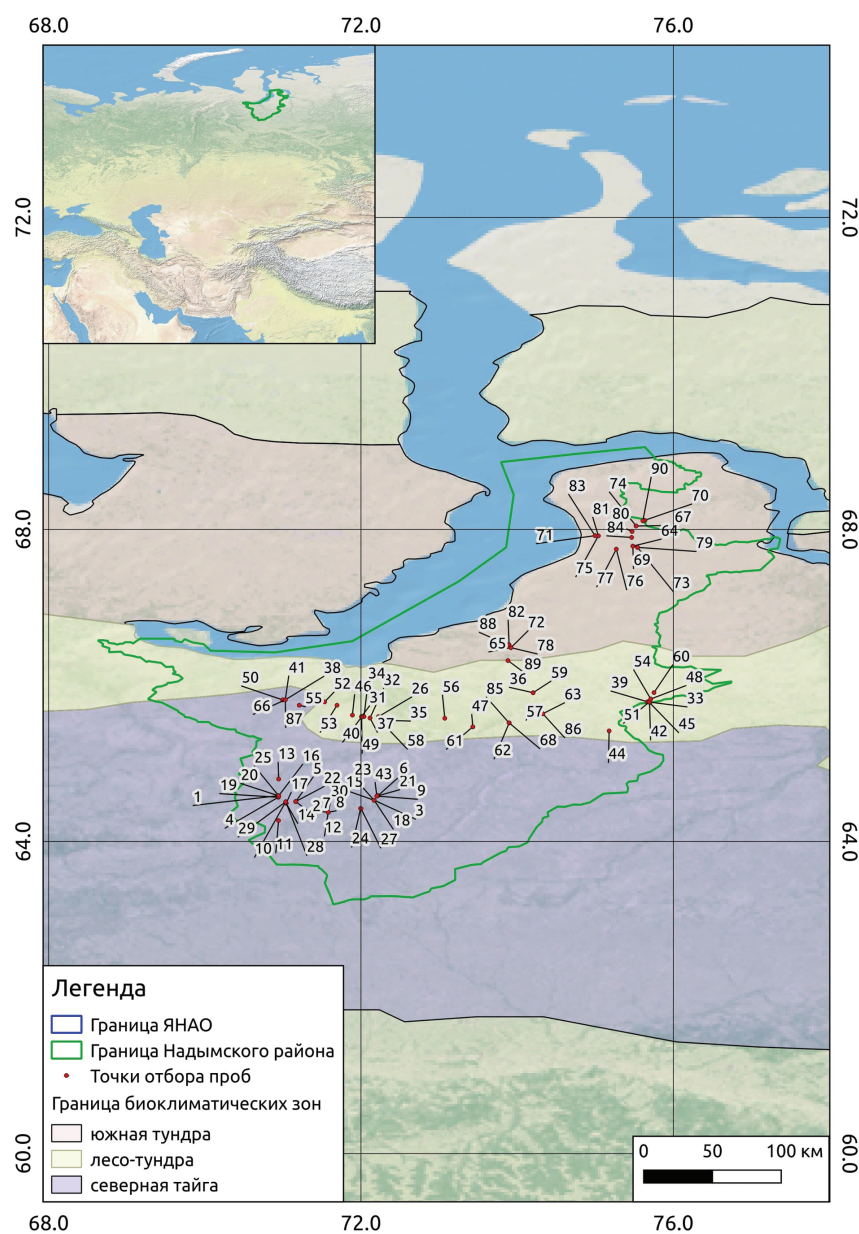
Научный и прикладной интерес представляют исследования биогеохимических особенностей элементного состава растений, произрастающих на фоновых участках в границах расположения нефтегазодобывающей промышленности, и выявление видовой специфики аккумуляции химических элементов в растениях, изучение географических особенностей накопления химических элементов растениями.

Цель работы заключается в выявлении особенностей элементного состава и оценке качества некоторых видов растений, составляющих кормовую базу северного оленя в разных биоклиматических зонах территории Надымского района.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В ходе геоботанического обследования оленьих пастбищ на фоновых участках Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) в июле-августе 2019 года были отобраны образцы 8 видов растений и 2 видов кормовых лишайников<sup>1</sup> для определения их элементного состава. В пределах Надымского района выделяют несколько природных подзон — южная тундра, лесотундра и северная тайга [Атлас

ЯНАО, 2004]. Образцы растений отобраны на трёх участках (рис. 1). Участок № 1 расположен в подзоне северной тайги, в редкостойных лиственничных и елово-лиственничных кустарничково-лишайниковых лесах, в окрестностях пос. Приозерный. Участок № 2 находится в подзоне лесотундры, в лиственнично-березовых с незначительной примесью ели, кустарничково-зелёномошно-лишайниковых редкостойных лесах и редколесьях, в окрестностях г. Надым. Участок № 3 выбран в подзоне южной тундры, в кустарнико-



**Рис. 1.** Пробные площадки на территории Надымского района, ЯНАО

<sup>1</sup> Для упрощения в дальнейшем по тексту лишайники будут включены в термин «растительность»

во-зеленомошной с ивой и ерником местами с ольховником бугорковой и пятнисто-бугорковой тундре, в окрестностях пос. Ямбург. Всего отобрано 90 проб.

Определён элементный состав фитомассы следующих видов: листья *Betula pubescens* Ehrh., *Salix lanata* L., кора *Larix sibirica* Ledeb., хвоя *Pinus sylvestris* L., вегетирующие зеленые надземные части *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ledum palustre* L. (incl. *L. Decumbens* (Aiton) Lodd. ExSteud.), *Eriophorum angustifolium* Honck., *Equisetum arvense* L., слоевища лишайников *Cladonia stellaris* (Opiz.) Pouzaret Uezda и *Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss.

Перечисленные выше виды были отобраны в трёхкратной повторности для каждой биоклиматической подзоны. На каждой пробной площадке 10 × 10 м была выбрана типичная экосистема и осуществлялся отбор проб не менее чем с 10 индивидуальных растений для каждого вида. Ввиду неоднородности территории и разности экологических факторов, для отбора всего перечня видов растений в каждой подзоне было организовано 10–18 пробных площадей (рис. 1, таблица 7 в Appendix). Масса каждого образца составляла не менее 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.

Определение элементного состава растений выполнялось с использованием метода рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа (РФАЭД) на спектрометре БРА 135-ф (АО НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург). В пробах фитомассы определялось содержание элементов Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Y, V, Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr. Концентрации элементов рассчитаны на воздушно-сухое вещество.

Изучалась аналитическая K $\alpha$  — линия. Выбор аналитических линий для измерения интенсивности излучения элементов осуществлялся в соответствующем диапазоне длин волн. 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. 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 об-

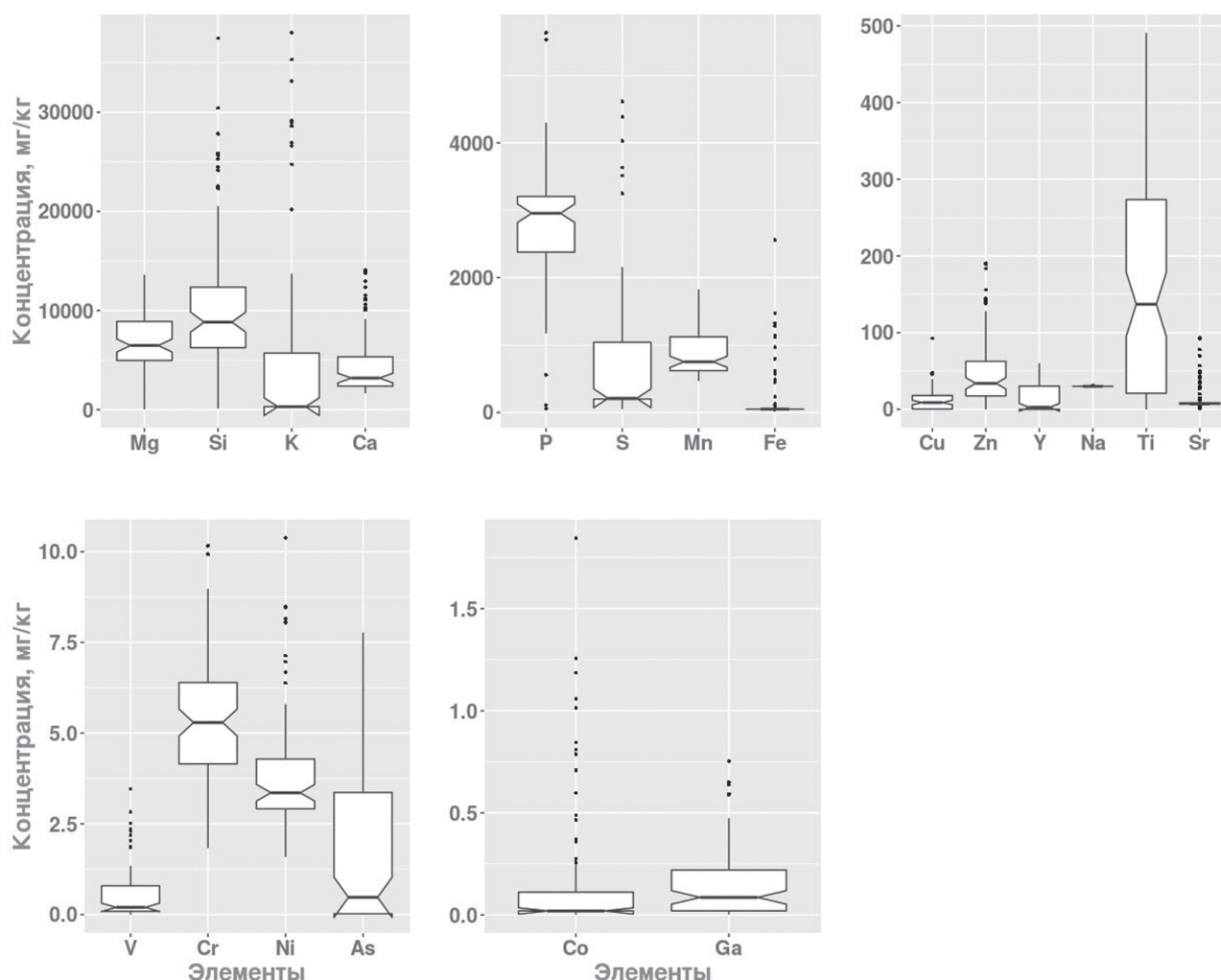
разцы готовились к РФАЭД таким же способом, что и исследуемые образцы растений. Значения пределов обнаружения устанавливали с помощью стандартных образцов с малым содержанием элемента: Cr — 0,4 мкг, Co — 0,02 мг/кг, Ni — 0,3 мг/кг, Cu — 0,4 мг/кг, Zn — 1,1 мг/кг, Ga — 0,02 мг/кг, As — 0,02 мг/кг, Y — 0,02 мг/кг, V — 0,09 мг/кг, Na — 30 мг/кг, Mg — 200 мг/кг, Si — 400 мг/кг, P — 60 мг/кг, S — 200 мг/кг, K — 300 мг/кг, Ca — 300 мг/кг, Ti — 12 мг/кг, Mn — 30 мг/кг, Fe — 50 мг/кг, Sr — 7 мг/кг. Величина ошибки (воспроизводимость результатов) для изученных элементов варьировала от 5% до 10%.

По данным литературного обзора установлено, что почвы исследуемого региона характеризуются выраженным дефицитом элементов [Опекунова с соавт., 2007; Иеронова с соавт., 2014; Томашунас с соавт., 2014; Агбальян с соавт., 2015; Журба с соавт., 2016; Страховенко с соавт., 2016; Скипин с соавт., 2016; Агбальян с соавт., 2018; Алексеев с соавт., 2019; Семенов, 2019]. Данные исследования проводились на территории незатронутой хозяйственной деятельностью. Для оценки фонового содержания были использованы медианные значения результатов всех вышеперечисленных работ для минеральных почв Надымского района.

Для выявления зональных особенностей накопления химических элементов растениями были выбраны виды, встречающиеся во всех биоклиматических подзонах. Также, данные виды могут быть использованы в качестве объектов биоиндикации. Из общего перечня исследованных видов *Betula pubescens* и *Pinus sylvestris* не были обнаружены в зоне тундры и по этой причине исключены из анализа.

Исследуемая выборка отлична от нормального распределения, поэтому статистическая обработка аналитических данных включала определение Med — медианы, 1-го и 3-го квартилей. Для сравнительных оценок использовался критерий Краскела-Уоллиса, непараметрический метод проверки принадлежности двух и более выборок к одному распределению, с последующим применением теста Данна для попарного сравнения. Объем выборки составил 90 измерений для проведения корреляционного анализа (рис. 3), 9 измерений для оценки видовой геохимической специализации растений (рис. 4) и 30 измерений для оценки содержания элементов в растениях различных биоклиматических подзон (рис. 5). Обработка, анализ данных и построение графиков были выполнены в программном продукте R с использованием пакетов rstatix, ggplot2 и ggpubr.





**Рис. 2.** Значения обнаруженных концентраций элементов. Линией обозначена медиана, нижняя и верхняя границы блока — нижний и верхний квартили, насечки показывают доверительный интервал относительно медианы, усы — 1,5 интерквартильных значения ( $\sim 3\sigma$ ), точки — выбросы (все, что выходит за пределы усов)

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Биогеохимические особенности растений

На содержание химических элементов в растениях оказывают влияния, главным образом, климатические, ландшафтно-геохимические особенности и видовая специфика аккумуляции химических элементов растениями. Содержание химических элементов зависит от пространственной неоднородности среды их обитания. Климат один из важнейших факторов, обуславливающий биогеохимическую специализацию флоры и соотношение между всеми формами миграции химических элементов в ландшафте. В гумидном климате формируются, в основном, катионофитные растения с преобладающим высоким накоплением катионогенных элементов [Скарлыгина-Уфимцева, 1991]. В ландшафтах с кислым классом водной миграции энергично мигрируют катионогенные элементы, которые легко поглощаются растительностью.

Анализ медианного содержания макро-

и микроэлементов в образцах всех изученных растений показал специфику и различия в накоплении элементов, как между видами растений, так и между биоклиматическими подзонами (рис. 2, табл. 4–6). Установлено, что почвы исследуемого региона характеризуются выраженным дефицитом элементов.

По величине медианного содержания в растениях элементы располагаются в следующем убывающем порядке (мг/кг):

Si(8827) > Mg(6469) > Ca(3186) > P(2955) > Mn(752) > S(210) > Ti(137) > Zn(33,9) > Cu(8,3) > Sr(7,0) > Cr(5,3) > Ni(3,4) > Y(2,6) > As(0,47) > V(0,2) > Ga(0,09)<sup>2</sup>.

Фитогеохимический спектр, представляющий собой ранжированный ряд химических элементов по убыванию коэффициентов био-

<sup>2</sup> Медианные значения концентраций Na, Fe, K, Co и Sr ниже предела определения, поэтому исключены из перечня



Таблица 1

Коэффициенты биологического накопления ( $K_{61}$ ) химических элементов в растениях относительно фоновых концентраций в почвах округа (данные о фоновых концентрациях Ga и S в почвах ЯНАО нами не обнаружены)

Приоритетные элементы	$P_{22.4}, Mg_{9.1}, Mn_{8.0}, Ca_{6.2}, Zn_{1.5}$
Дефицитные элементы	$Cu_{0.9}, Y_{0.4}, As_{0.2}, Ni_{0.2}, Cr_{0.1}, Ti_{0.09}, K_{0.08}, Sr_{0.07}, Na_{0.03}, Si_{0.02}, V_{0.0007}, Co_{0.005}, Fe_{0.005}$

Таблица 2

Коэффициенты биологического накопления ( $K_{62}$ ) химических элементов в растениях относительно кларка верхней части континентальной земной коры

Приоритетные элементы	$P_{4.3}$
Дефицитные элементы	$Mn_{0.98}, Zn_{0.5}, Mg_{0.4}, Cu_{0.2}, Y_{0.1}, As_{0.08}, Ca_{0.08}, Ni_{0.07}, Cr_{0.06}, Ti_{0.04}, Si_{0.03}, Sr_{0.03}, K_{0.01}, V_{0.002}, Na_{0.001}, Fe_{0.001}, Co_{0.001}$

логического накопления  $K_{61}$  (отношение содержания химических элементов в растениях к фоновому содержанию элементов в почвах ЯНАО [Опекунова с соавт., 2007; Иеронова с соавт., 2014; Томашунас с соавт., 2014; Агбалин с соавт., 2015; Журба с соавт., 2016; Страховенко с соавт., 2016; Скипин с соавт., 2016; Агбалин с соавт., 2018; Алексеев с соавт., 2019; Семенов, 2019], позволяет выявить интенсивность аккумуляции химических элементов в изученных образцах растений (табл. 1).

Фосфор является биогенным элементом и накапливается в растениях на территории Надымского района в максимальном количестве. При довольно низком содержании в почвах (132 мг/кг) его концентрация в растениях выше в ~22 раза.

Магний, марганец и кальций характеризуются высоким коэффициентом биологического накопления, несмотря на их конкурентные свойства в накоплении. Магний участвует в процессах фотосинтеза, транспорта фосфора и прочих жизненно важных функций [Marschner, 2011; Воеводина, 2015]. Mn является индикатором биогеохимических циклов в ландшафтах с гумидным климатом. Накопление Mn в растениях обусловлено изменением подвижности химических элементов при смене песчаных почв торфяниками [Опекунова, 2013]. Кальций участвует в построении клеточных стенок и мембран [White, 2003]. Растения накапливают цинк в полтора раза больше его фонового содержания в почвах. Данный элемент задействован во многих биохимических процессах.

Для удобства сравнения результатов с фундаментальными работами Добровольского В.В. и Перельмана А.И. были посчитаны коэффициенты биологического накопления ( $K_{62}$ ) химических элементов по отношению к кларку [Григорьев, 2009]. Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют о накоплении в растениях Надымского района лишь фосфора, остальные элементы содержатся в раститель-

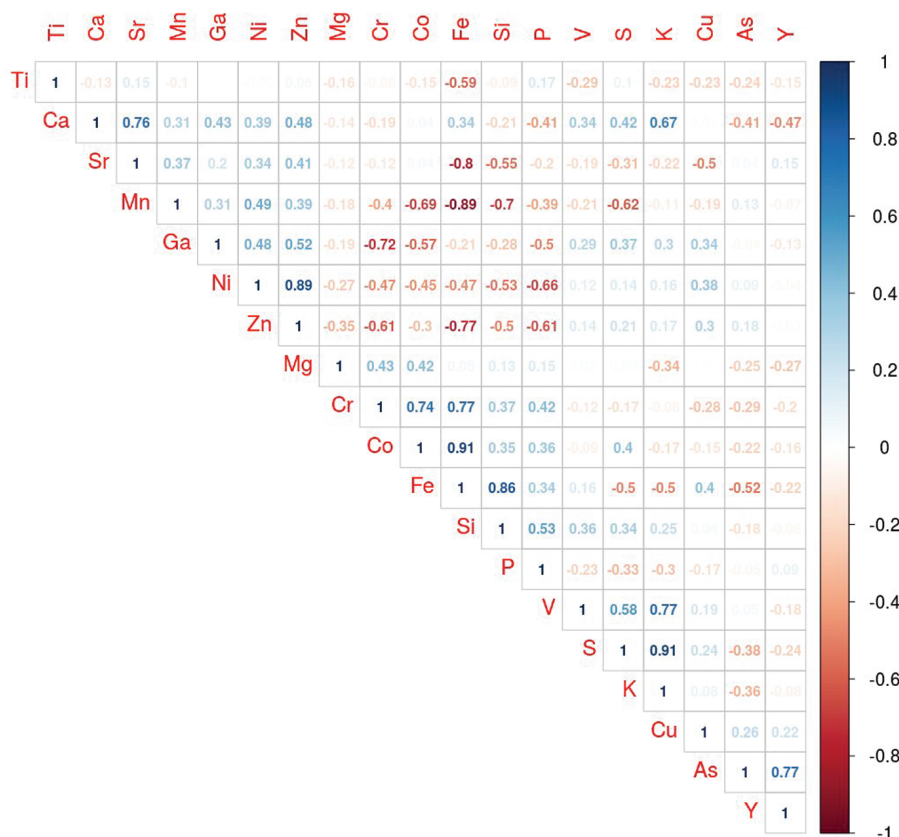
ности в значительно меньших концентрациях.

Представляет интерес оценка ассоциаций химических элементов на основе корреляционных зависимостей между их содержанием в изученных образцах растений. Такой подход позволяет установить роль антропогенной нагрузки и физиологических особенностей поглощения, специфику источников загрязнения. Аккумуляция химических элементов в растениях, подверженных одномоментному воздействию разных факторов, связана с поступлением загрязняющих веществ разными путями. Установлены элементы-антагонисты и элементы-синергисты в конкретных геохимических условиях в пределах Надымского района.

Установлены статистически достоверные ассоциации элементов для всех растений (рис. 3). Положительная значимая корреляция внутри групп V — S — K ( $r_s = 0,58-0,91$ ) и Mg — Cr — Co — Fe — Si — P ( $r_s = 0,15-0,91$ ), а также сильная связь As — Y ( $r_s = 0,77$ ), Ni и Zn между собой ( $r_s = 0,89$ ) и с Ca, Sr, Ga, Mn ( $r_s = 0,2-0,76$ ).

Известно, что недостаток или избыток одних элементов может блокировать поглощение или метаболизм других химических элементов [Ермаков с соавт., 2018]. В данном исследовании выявлены элементы с достоверной обратной корреляционной зависимостью, т. е. высокое содержание одного элемента обычно сопряжено с низким содержанием другого. К таким элементам антагонистом относятся ассоциации Si с Zn ( $r_s = -0,77$ ), Sr ( $r_s = -0,8$ ) и Mn ( $r_s = -0,89$ ), а также между группами Mg, Cr, Co, Fe, P и Sr, Mn, Ga, Cu, Ni, Zn ( $r_s = -0,12 - -0,72$ ).

Важнейшими и нормируемыми в рационах питания животных макроэлементами считаются Ca, K, Mg, P, Na, S, микроэлементами — Fe, Mn, Zn, Cu, Co. В изученных образцах растений медианные содержания Mg, P и Mn превышают рекомендуемые величины (норму) в корме для крупного рогатого скота [Биогеохимические основы..., 1993], медианные содержания Zn, Cu, Fe и Si в растениях соответствуют норме, а кон-



**Рис. 3.** Матрица корреляции между концентрациями элементов в растениях (по критерию Спирмана)<sup>1</sup>

центрации Co, Na, K находятся в дефиците.

Существующие проблемы развития оленеводства в ЯНАО, связанные с истощением кормовой базы оленьих пастбищ в тундровой природной зоне [Зуев, 2016], возможно частично решить за счет более активного вовлечение в хозяйственный оборот естественных кормовых угодий Надымского района. Кормовая база Надымского района представлена кустистыми лишайниками, кустарниковыми ивами и березками, осоковыми, злаковыми, растениями группы разнотравья, среди которых сложноцветные и хвощи [Байкалова, Долгова 2018]. При этом следует строго учитывать норму выпаса оленьих стад, чтобы предотвратить деградацию растительности.

### Видовая биогеохимическая специализация растений

Биогеохимическая специализация растений зависит от зонально-региональных закономерностей биогенной миграции элементов, видового уровня организации фитобиоты и уровня антропогенной нагрузки [Шихова, 2017].

Специфичность аккумуляции химических элементов растениями в природных ландшафтах проявляется на экобиоморфном уровне организации фитобиоты. Выделяются две основные группы растений, обусловленные эволюционно сложившимися адаптационными стратегиями: концентраторы и деконцентраторы [Уфимцева, 2015]. Концентраторы накапливают химические элементы, как при низком, так и при высоком их содержании в почве, почвообразующих и коренных породах. Деконцентраторами являются растения, у которых поступление химических элементов в надземную часть ограничено, несмотря на их высокое содержание в среде произрастания.

Изучена видовая геохимическая специализация растений (рис. 4, табл. 5). Содержание Mg и микроэлементов (V, Y, As и Co) статистически достоверно не отличается между видами исследованных растений. По остальным элементам отличия выявлены для нескольких пар растений. Наибольшее различие уровня аккумуляции между разными видами растений обнаружено для Ni, Zn, Ca, Mn, S и Si.

<sup>1</sup> На исключен из анализа ввиду значения концентраций ниже пределов обнаружения для всех исследуемых образцов

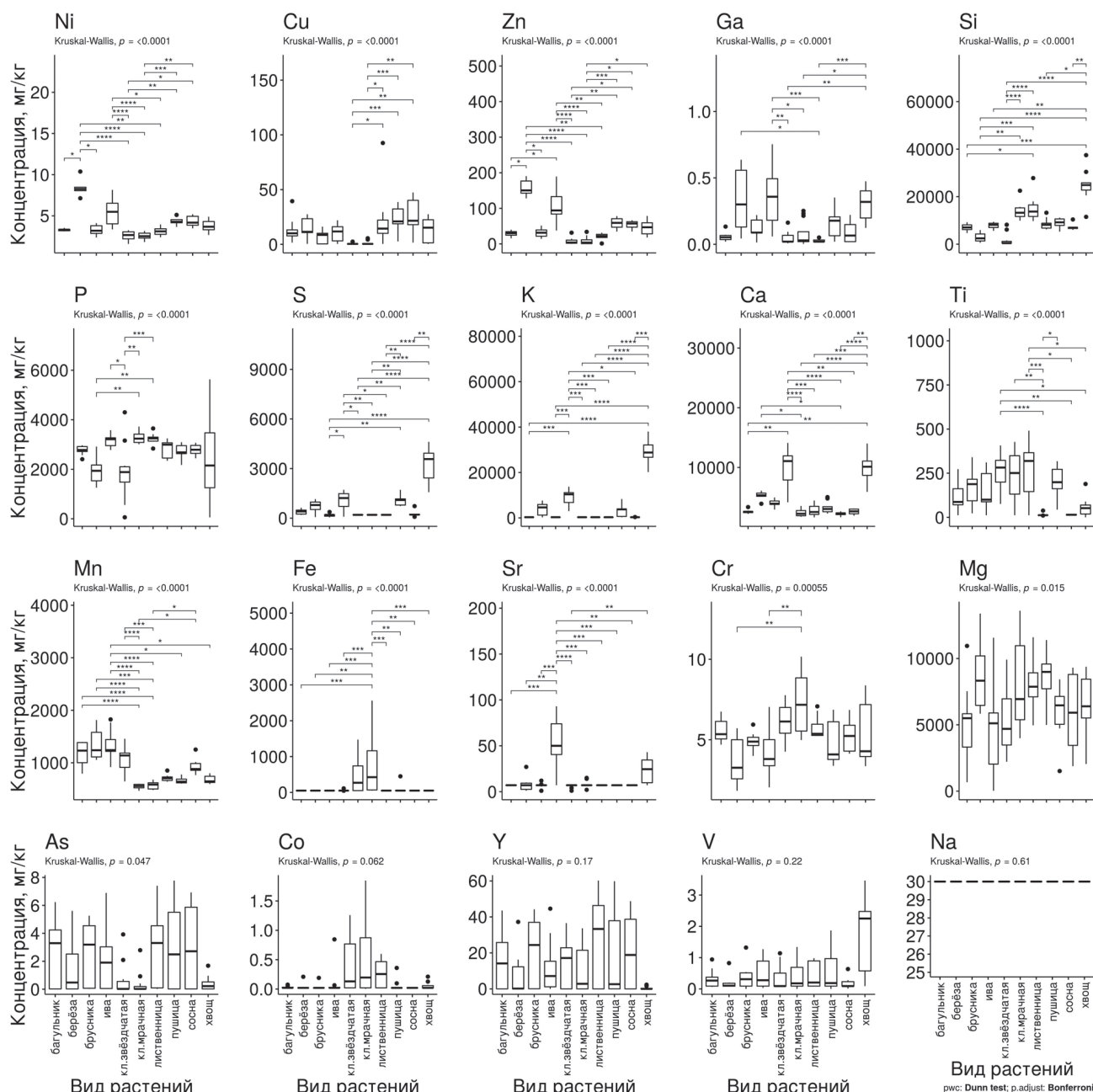
Содержание V изменяется от 0,09 мг/кг в хвое *Pinus sylvestris* и талломах *Cladonia stellaris* до 2,25 мг/кг в *Equisetum arvense* (табл. 5). Установлено увеличение концентрации V в ряду видов растений *Betula pubescens* > *Cladonia stygia* > *Eriophorum angustifolium* > *Larix sibirica* > *Ledum palustre* (incl. *decumbens*) > *Salix* > *Vaccinium vitis-idaea*.

Содержание Сг высокое во всех опробованных растениях. Концентрации Сг варьирует незначительно от 3,3 мг/кг в листьях *Betula pubescens* до 7,2 мг/кг в талломах *Cladonia stygia*.

Содержание Со в значительной части исследованных образцов ниже предела обнаружения. Неоднородность и повышенные уровни концентраций обнаружены в талломах лишайников и коре лиственницы, что говорит о локальных особенностях распределения кобальта.

Выраженная аккумуляция Ni установлена в листьях *Betula pubescens* — 8,3 мг/кг. Наиболее низкие значения обнаружены для *Cladonia stellaris* и *Cladonia stygia*.

В опробованной выборке растений содержание Си варьирует 0,4 (предел обнаружения) — 21,6 мг/кг. Так, в талломах *Cladonia stellaris*



**Рис. 4.** Накопление элементов различными видами растений. Скобками отмечены виды растений со статистически достоверно расходящимися концентрациями, звездочками отмечена значимость различий (\* — слабое достоверное различие, \*\*\*\*\* — сильное различие)



и *Cladonia stygia* содержание Cu изменяется от 0,4 мг/кг до 5,5 мг/кг (медианное значение 0,4 мг/кг), в хвое *Pinus sylvestris* содержания Cu варьируют от 1,6 мг/кг до 47,4 мг/кг (медианное значение 21,6 мг/кг).

Максимальная аккумуляция цинка установлена в листьях *Betula pubescens* и листьях кустарников рода *Salix*. Варьирование концентраций Zn в листьях *Betula pubescens* от минимальных значений 128 мг/кг до максимальных уровней — 190 мг/кг (медианное значение 150 мг/кг). В листьях кустарников рода *Salix* накопления Zn изменяются от 38 мг/кг до 140 мг/кг (медианное значение 94 мг/кг). Минимальные содержания Zn установлены в *Cladonia stellaris* и *Cladonia stygia* (3,7–3,9 мг/кг).

Листья кустарников рода *Salix* активно аккумулируют Ga в концентрациях от 0,06 мг/кг до 0,75 мг/кг (медианное содержание 0,36 мг/кг). Минимальные уровни Ga установлены в *Larix sibirica* и *Cladonia stellaris* (0,02 мг/кг).

Максимальное содержание As установлено в *Larix sibirica* 3,31 мг/кг (от 0,02 мг/кг до 7,40 мг/кг) и в *Ledum palustre* 3,29 мг/кг (от 0,02 мг/кг до 6,23 мг/кг). Наименьшие концентрации As показаны в образцах кустистых лишайников (0,02 мг/кг).

Содержания Y в изученных растениях варьирует в широких пределах от 0,02 мг/кг (предел обнаружения) в траве *Equisetum arvense* до 33,3 мг/кг в коре *Larix sibirica*.

Низкое содержание Na менее предела обнаружения (30 мг/кг) показано во всех изученных растительных образцах. В ходе анализа обнаружены два существенных выброса значений 420 и 920 мг/кг для брусники и листьев ивы, которые мы связываем со случайным загрязнением отобранных образцов.

Максимальное количество Mg накапливается в листьях *Betula pubescens* — 8300 мг/кг и в коре *Larix sibirica* (8990 мг/кг).

Таблица 3

Коэффициенты биологического накопления ( $K_{б1}$ ) химических элементов в растениях относительно рассчитанного локального фонового уровня в почвах ЯНАО (жирным шрифтом обозначены повышенные уровни аккумуляции, курсивом — пониженные уровни аккумуляции)

Химический элемент	<i>Cladonia stellaris</i>	<i>Cladonia stygia</i>	<i>Eriophorum angustifolium</i>	<i>Equisetum arvense</i>	<i>Ledum palustre</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Salix lanata</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Larix sibirica</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	Локальный фон, мг/кг <sup>1</sup>
V	0,46	0,92	0,96	<b>11,51</b>	1,36	1,59	1,42	0,53	1,04	0,46	0,20
Cr	1,21	<b>1,42</b>	0,81	0,85	1,06	0,97	0,75	0,64	1,06	1,03	5,29
Co	5,50	9,80	—	—	—	—	—	—	<b>12,75</b>	—	<0,02
Ni	0,80	0,75	1,28	1,01	0,99	0,95	1,64	<b>2,47</b>	0,93	1,25	3,36
Cu	<i>0,05</i>	<i>0,05</i>	<b>2,37</b>	1,73	1,14	0,98	1,33	1,26	1,63	<b>2,44</b>	8,82
Zn	<i>0,10</i>	<i>0,09</i>	1,51	1,20	0,77	0,80	2,41	<b>3,84</b>	0,56	1,47	33,86
Ga	0,26	0,38	2,31	<b>4,14</b>	0,68	1,14	4,65	3,90	<i>0,26</i>	0,86	0,09
As	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>	5,26	0,46	<b>6,95</b>	6,73	4,02	1,01	<b>6,97</b>	5,73	0,47
Y	6,52	1,08	1,00	<i>0,01</i>	5,38	9,27	2,72	<i>0,07</i>	<b>12,65</b>	7,17	2,63
Na	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<30,0
Mg	1,08	1,22	1,01	0,99	0,85	0,80	0,73	<b>1,29</b>	<b>1,40</b>	0,92	6469,0
Si	1,36	1,69	1,13	<b>3,06</b>	0,87	1,00	<i>0,05</i>	<i>0,30</i>	1,00	0,86	8827,0
P	<b>1,16</b>	<b>1,17</b>	0,96	0,77	1,00	1,15	0,68	0,70	1,08	1,00	2955,0
S	0,95	0,95	5,22	<b>17,01</b>	1,94	0,95	5,79	3,80	0,95	1,01	210,0
K	—	—	12,58	<b>95,98</b>	—	—	<b>34,58</b>	15,38	—	—	<300,0
Ca	0,79	0,89	0,81	<b>3,57</b>	0,90	1,38	<b>3,90</b>	1,88	1,07	0,93	3186,0
Ti	1,74	<b>2,22</b>	1,38	0,36	0,60	0,69	1,96	1,31	<i>0,08</i>	<i>0,1</i>	137,0
Mn	0,70	0,74	0,81	0,81	1,55	<b>1,56</b>	1,44	<b>1,67</b>	0,89	1,11	752,0
Fe	<b>5,40</b>	<b>8,50</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	<50,0
Sr	—	—	—	3,50	—	—	<b>7,14</b>	—	—	—	<7,0

Все изученные растения обогащены кремнием. В листьях *Salix* концентрации Si минимальны и варьируют от 400 мг/кг до 8190 мг/кг. Максимальное содержание Si выявлено в *Equisetum arvense* и *Cladonia stellaris*, *Cladonia stygia* (24890 мг/кг, 13220 и 13730 мг/кг соответственно).

Максимальное накопление P характерно для *Vaccinium vitis-idaea*, *Cladonia stellaris* и *Cladonia stygia*, которое изменяется от 3210 мг/кг до 3250 мг/кг.

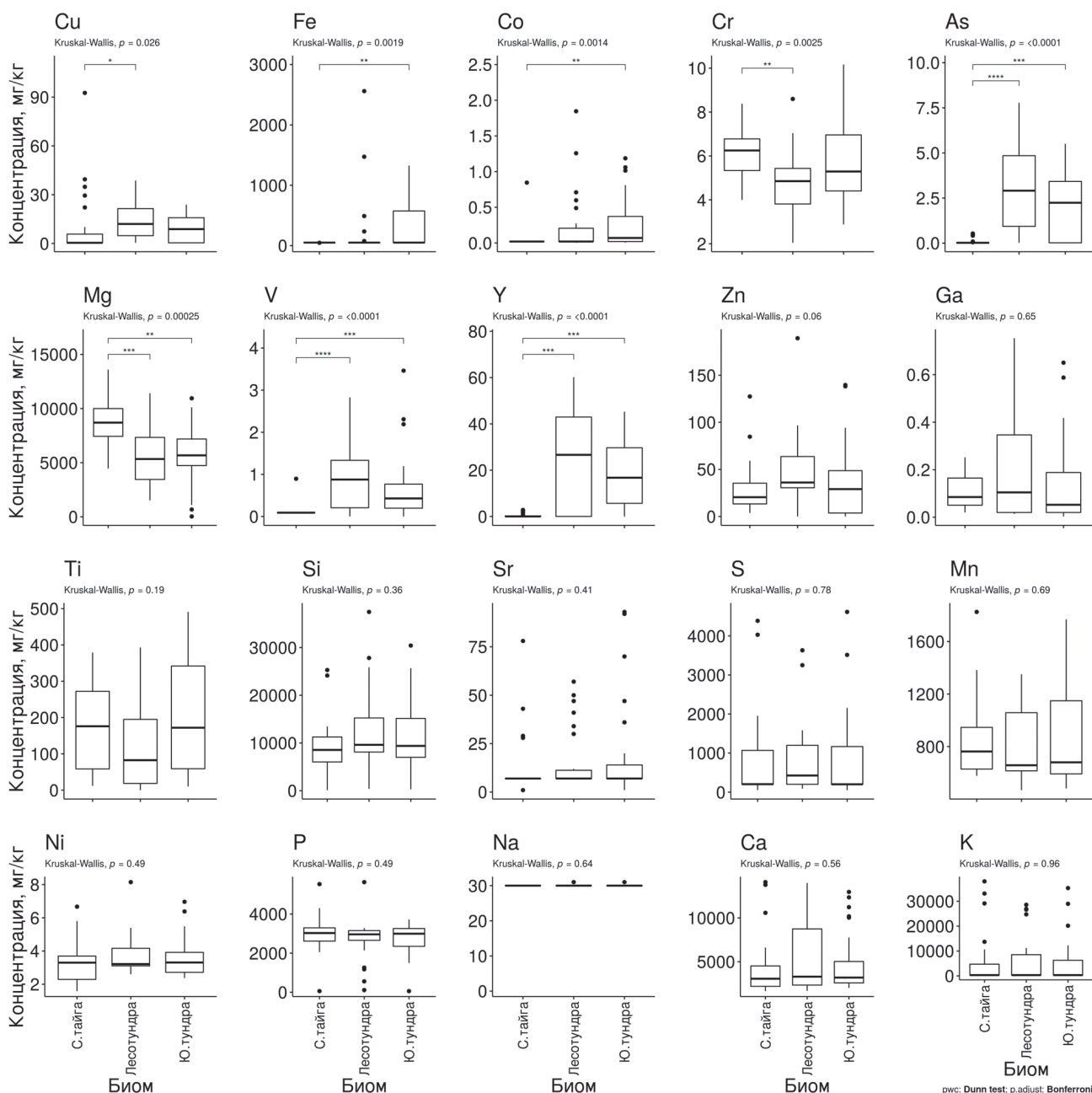
*Equisetum arvense* L. способен аккумулировать максимальные концентрации S, K, Ca по сравнению с другими изученными расте-

ниями.

Содержания Ti в растениях изменяются от 12 мг/кг в коре *Larix sibirica* до 320 мг/кг в *Cladonia stygia*. Высокие концентрации Ti установлены в *Cladonia stellaris* и в листьях *Salix lanata* — 251 и 282 мг/кг.

В исследованной выборке растений содержания Fe, в основном, находятся на уровне предела определения 50 мг/кг, за исключением таллов лишайников *Cladonia stellaris* и *Cladonia stygia*, в которых концентрация Fe изменяется от 50 мг/кг до 2560 мг/кг (медианные значения 270 и 25 мг/кг).

Максимальные концентрации Mn зафик-



**Рис. 5.** Содержание элементов в растениях разных биоклиматических подзон Надымского района, ЯНАО. Скобками отмечены виды растений со статистически достоверно расходящимися концентрациями, звездочками отмечена значимость различий (\* — слабое достоверное различие, \*\*\*\* — сильное различие)

сированы в листьях *Ledum palustre*, *Betula pubescens* и *Vaccinium vitis-idaea* (медианные значения от 1230 мг/кг до 1240 мг/кг).

Концентрации Sr в изученной выборке растений ниже предела определения. Максимальные содержания зафиксированы в листьях кустарников рода *Salix* (от 7 мг/кг до 93 мг/кг) и в *Equisetum arvense* (от 7 мг/кг до 43 мг/кг).

Анализ коэффициентов биологического накопления химических элементов в растениях относительно локального фонового уровня в почвах ЯНАО (табл. 3) позволил выделить группу растений-концентраторов ( $K_{61} > 1.5$ ), виды растений с фоновым содержанием элементов и группу растений-деконцентраторов ( $K_{61} < 0.5$ ). Сильные концентрационные способности обнаружены лишь у *Equisetum* по содержанию калия ( $K_{61} = 96$ ).

К растениям — аккумуляторам химических элементов относится *Equisetum arvense*, способный накапливать 3–17-кратные количества V, S, Ga и Ca по сравнению с другими видами растений. Лишайники *Cladonia stygia* и *Cladonia stellaris* обладают способностью концентрировать Fe и Co, при этом *Cladonia stellaris* также специфична к накоплению Y. *Eriophorum* накапливает K, S и As, *Ledum palustre* — As и Y. *Salix lanata* аккумулирует в высоких количествах K, Sr, Ca и Ga; листья *Betula pubescens* являются концентраторами Zn и Ni; *Larix sibirica* содержит в коре повышенное содержание Co и Y; *Pinus sylvestris* — активно накапливает Cu.

Ниже фоновых значений показано содержание элементов в *Cladonia stellaris* и *Cladonia stygia* (Cu, Zn, As, Ga), *Equisetum arvense* (Y, Ti), *Salix lanata* (Si), *Betula pubescens* (Y, Si), *Larix sibirica* (Ga, Ti), *Pinus sylvestris* (Ti).

### Зональные особенности накопления химических элементов растениями

Все полученные результаты были объединены для характеристики кормовой базы разных природных зон. Таким образом, на этом основании территория может быть охарактеризована как более или менее благоприятная для выпаса оленей. Статистические достоверные различия в накоплении элементов растениями в разных биоклиматических подзонах (рис. 5, табл. 6) обнаружены для Cu, Fe, Co, Cr, As, Mg, V, Y. Для остальных элементов специфики аккумуляции не выявлено.

Согласно полученным данным, территория северной тайги отличается низким содержанием Fe, Co, As, V и Y и повышенной концентрацией Mg и Cr в растениях. Низкие концентрации элементов обусловлены господством песчаных бедных почвообразующих пород и сформировавшихся на них подзонах [Опекунова, 2013; Московченко с соавт., 2015].

Для территории лесотундры характерно повышенное содержание As. Полученные нами данные согласуются с результатами почвенных исследований [Алексеева с соавт.]. В ЯНАО установлен повышенный региональный фон по As [Алексеев с соавт., 2019]. По содержанию Cu выявлено незначительное повышение концентрации от северотаежной подзоны к южной тундре.

Для подзоны лесотундры обнаружены повышенные концентрации Fe в кладониях, а для *Eriophorum angustifolium* только в подзоне южной тундры. В подзоне северной тайги повышенные концентрации V накапливаются в *Larix sibirica*. *Salix* аккумулирует максимальные концентрации Co в подзоне северной тайги, а для кладоний в этой подзоне наблюдаются минимальные значения, которые увеличиваются на север. *Equisetum arvense* и *Salix* накапливают низкие значения Cu в подзоне северной тайги; в *Larix sibirica* наоборот, обнаружено повышенное содержание этого элемента. Содержание Ga существенно выше в листьях *Betula pubescens* и в *Eriophorum angustifolium* в подзоне лесотундры, в *Salix* меньшее содержание этого элемента в подзоне северной тайги.

Различия в накоплении некоторых элементов в растениях, возможно, связаны с особенностями их поступления из атмосферы на поверхность растений в составе отдельных фракций пылеаэрозольных выпадений [Тентюков, 2008]. Повышенное содержание тяжелых металлов (в частности, Zn, Cr и Ni) обнаружено в растительности Западного Таймыра, что по мнению авторов [Сысо и др., 2014] является геохимической особенностью бореальной зоны.

В работе [Опекунова и др., 2018] показано, что повышенное содержание тяжёлых металлов в растительности является индикатором общего загрязнения территории. При этом лишайники характеризуются повышенным содержанием всех элементов. Для берёзы характерно повышенное накопление Zn, порой двадцатикратно превышающее фоновые концентрации данного элемента в почве [Marguí, et al., 2007]. Результаты содержания тяжелых металлов в наших исследованиях сопоставимы с результатами [Попова, 2016].

### Выводы

Проведенные исследования позволили определить содержание Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Y, V, Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, S в растениях фоновых участков нефтегазоносных районов севера Западной Сибири в пределах северной тайги, лесотундры и южной тундры.



В качестве объектов исследования были выбраны широко распространенные виды древесных пород (*Betula pubescens*, *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*), кустарников *Salix lanata*, кустарничков (*Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre* s. l.), трав (*Eriophorum angustifolium*, *Equisetum arvense*) и лишайников (*Cladonia stellaris*, *Cladonia stygia*). По величине медианного содержания в растениях элементы располагаются в следующем порядке (мг/кг): Si(8827) > Mg(6469) > Ca(3186) > P(2955) > Mn(752) > S(210) > Ti(137) > Zn(33,9) > Cu(8,3) > Sr(7,0) > Cr(5,3) > Ni(3,4) > Y(2,6) > As(0,47) > V(0,2) > Ga(0,09). Рекомендовано использовать полученные значения содержания элементов в растительности в качестве ориентировочных для исследуемой территории.

Посчитаны коэффициенты биологического накопления элементов в растениях относительно региональных фоновых концентраций в почвах. Максимальные коэффициенты аккумуляции обнаружены для  $P_{22,4}$ ,  $Mg_{9,1}$ ,  $Mn_{8,0}$ ,  $Ca_{6,2}$  и для  $Zn_{1,5}$ . Сильные концентрационные способности обнаружены у *Equisetum* по содержанию калия ( $K_c = 96$ ).

Выявлена видовая специфика аккумуляции химических элементов в растениях и изучены зональные особенности накопления этих элементов растениями. Содержание ряда макроэлементов (Mg) и микроэлементов (V, Y, As и Co) статистически достоверно не отличается между видами исследованных растений. Наибольшее различие уровня аккумуляции между видами растений обнаружено для Ni, Zn, Ca, Mn, S и Si.

Статистические достоверные различия в накоплении элементов растениями в разных биоклиматических зонах обнаружено для Cu, Fe, Co, Cr, As, Mg, V, Y. Для остальных элементов специфики аккумуляции не выявлено.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А.П. 1972. Введение в географическую патологию. М.: Медицина. С. 328.
2. Агбалян Е.В., Колесников Р.А., Печкин А.С., Моргун Е.Н., Красненко А.С., Ильясов Р.М., Локтев Р.И., Шинкарук Е.В. 2018. Экологическое состояние почв полигонов комплексного экологического мониторинга «Сабетта», «Харп», «Надымский» Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. Салехард. №4 (101). С. 5-12.
3. Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В. 2015. Уровень химического загрязнения почвы в долине реки Лукьяха Тазовского полуострова // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. №89(4). С. 42-48.
4. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. 2019. Тяжелые металлы в почвах природных и урбанизированных ландшафтов Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. № 1. С. 89-92.
5. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа/ Под ред. С.И. Ларин. 2004. Омск. С.304.
6. Байкалова Л.П., Долгова Н.Г. 2018. Кормовые ресурсы и их рациональное использование для оленеводства арктической зоны // Арктика 2018: Международное сотрудничество, экология и безопасность, инновационные технологии и логистика, правовое регулирование, история и современность: материалы международной конференции. Изд-во Красноярский государственный аграрный университет. С. 21-27.
7. Биогеохимические основы экологического нормирования/ Под ред. В.Н. Башкина, Е.В. Евстафьевой, В.В. Снакина с соавт. 1993.М.: Наука. С. 304.
8. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. 2011. СПб.: Изд-во СПб гос. у-та. С. 367.
9. Воеводина Л.А., Воеводин О.В. 2015. Магний для почвы и растений. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. №2 (18). С. 70-81.
10. Григорьев Н.А. 2009. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екб.: УрО РАН. С. 382.
11. Долгова Л.С., Гаврилова И.П. 1971. Особенности почв средне-и северотаежных подзон Западной Сибири (в пределах Тюменской области) // Природные условия Западной Сибири. М. С. 77.
12. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. 2018. Биогеохимическая индикация микроэлементозов / Под ред. Т.И. Моисеенко. М. С. 386.
13. Журба О. М., Рукавишников В. С., Меринов А. В., Алексеенко, А. Н. 2016. Содержание нефтепродуктов, бенз (а) пирена, тяжелых металлов, мышьяка в почве Ямало-Ненецкого автономного округа и тяжелых металлов, мышьяка в волосах детей // Гигиена и санитария. № 95(6). С. 521-524.
14. Зуев С.М. 2016. Проблемы устойчивого развития оленеводства в ЯНАО// Россия в глобальном мире. № 9 (32). С. 173-187.
15. Иеронова В.В., Безухова, А.В. 2014. Оценка экологического состояния почв в зоне нефтегазодобычи по содержанию загрязняющих веществ (на примере нефтяного месторождения Ямало-Ненецкого автономного округа) // Вестник Югорского государственного университета. №3 (34). С. 38-40.
16. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. 2015. Фоновое содержание подвижных форм металлов в почвах севера Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. № 3(3). С. 163-174.
17. Опекунова М.Г. 2013. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. СПб. С. 36.
18. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Арестова И.Ю., Кукушкин С.Ю., Спасский В.В., Никитина М.А., Елсукова Е.Ю., Шейнерман Н.А., Недбаев И.С. 2018. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 63, №3. С. 326-344.
19. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю. 2007. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы нефтегазоконденсатных

- месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. №1. С. 124-127.
20. 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. С. 422-439.
  21. Позов С.А., Орлова, Н. 2002. Микроэлементозы животных в биогеохимических провинциях. Ставрополь: Saarbrucken. С. 150.
  22. Попова Е.И. 2016. Накопление тяжелых металлов фитоценозами Западно-Сибирской Арктики и Субарктики // Современные проблемы науки и образования. №5. С. 317-317.
  23. Семенов И.Н. 2019. Интенсивность биогенной аккумуляции тяжелых металлов в системе «почвы-растения» Обь-Пуровского междуречья // Биогеохимия-научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека. С. 218-221.
  24. Скарлыгина-Уфимцева М.Д. 1991. Системно-иерархический анализ микроэлементного состава фитобиоты ландшафтов // Тр. Биогеохимической лаборатории АН СССР. №22. С. 120-134.
  25. Скипин Л.Н., Галямов А.А., Гаевая Е.В., Захарова, Е.В. 2016. Экологическая оценка состояния почвенного покрова оленьих пастбищ полуострова Ямал // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. №12. С. 194-202.
  26. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. 2016. Сравнительный анализ распределения концентраций экологически опасных элементов в компонентах окружающей среды разных ландшафтов Сибири // Экологический мониторинг окружающей среды. С. 123-140.
  27. Сысо А.И., Колпашиков Л.А., Ермолов Ю.В., Черевко А.С., Сиромля Т.И. 2014. Элементный химический состав почв и растений Западного Таймыра // Сибирский экологический журнал. Т.21, №6. С. 855-862.
  28. Таланов Г.А., Хмелевский Б.Н. 1991. Санитария кормов: справочник. М.: Агропромиздат. С. 303.
  29. Тентюков М.П. 2008. Изменение информативности индикационных характеристик тундровых кустарников в условиях аэротехногенного загрязнения // Сибирский экологический журнал. №2. С. 217-224.
  30. Томашунас В.М., Абакумов Е.В. 2014. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый // Гигиена и санитария. №93(6). С. 26-31.
  31. Уфимцева М.Д. 2015. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия. №5. С. 450-450.
  32. Шихова Н.С. 2017. Эколого-геохимические особенности растительности южного Приморья и видоспецифичность арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // Сибирский лесной журнал. №6. С.76-88.
  33. Margun E., Queralt I., Carvalho M. L., Hidalgo M. 2007. Assessment of metal availability to vegetation (*Betula pendula*) in Pb-Zn ore concentrate residues with different features // Environmental Pollution, 145(1), P. 179-184.
  34. Marschner, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants / H. Marschner. — 3rd ed. — London. P. 672.
  35. White P.J., Broadley M.R. 2003. Calcium in plants // Annals of botany 92(4). P. 487-511.

Поступила: 10.02.2021

Одобрена: 12.04.2021

Принята: 22.06.2021



## APPENDIX

Таблица 4

Содержание химических элементов в растениях Надымского района (мг/кг)

ХЭ	Med	M	SD	Норма*	МДУ**	Фоновое содержание в почвах ЯНАО***
V	0,20	0,55	0,72	—	—	27,00
Cr	5,3	5,4	1,7	—	0,5	43,70
Co	0,02	0,17	0,34	0,3–1,0	1,0	4,00
Ni	3,4	3,9	1,7	—	3,0	15,20
Cu	8,8	12,1	14,4	3–12	—	9,95
Zn	34	48	46	20–60	50	23,00
Ga	0,09	0,16	0,17	—	—	—
As	0,47	1,89	2,33	—	0,5	2,00
Y	2,63	14,89	18,12	—	—	6,00
Na	30	44	101	1000	—	1075,25
Mg	6470	6670	2930	1800	—	711,78
Si	8800	10300	7300	10000	—	496139,57
P	2960	2740	903	1500	—	132,0
S	210	790	1030	—	—	—
K	300	5080	9270	3000	—	3654,38
Ca	3190	4670	3370	6000	—	514,00
Ti	137	157	134	—	—	1528,00
Mn	752	877	337	20–60	>500	94,54
Fe	50	188	401	25–50	100	10982,00
Sr	7	15	19	—	—	106,75

Med — медианное значение, M — среднее значение, SD — стандартное отклонение, \* норма по [Биогеохимические основы..., 1993], \*\*МДУ — максимально допустимый уровень по [Таланов, Хмелевский, 1991]. \*\*\* по результатам анализа статей [Опекунов с соавт., 2007; Иеронова с соавт., 2014; Томашунас с соавт., 2014; Агбалиян с соавт., 2015; Журба с соавт., 2016; Страховенко с соавт., 2016; Скипин с соавт., 2016; Агбалиян с соавт., 2018; Алексеев с соавт., 2019; Семенов, 2019].

Таблица 5

Содержание химических элементов в растениях в зависимости от вида (мг/кг) (величина ошибки варьирована от 5% до 10%.)

Э	<i>Ledum palustre</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Vaccinium Vitis-idaea</i>	<i>Salix lanata</i>	<i>Cladonia stellaris</i>	<i>Cladonia-tygia</i>	<i>Larix sibirica</i>	<i>Eriophorum angustifolium</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Equisetum arvense</i>
V	0,27	0,10	0,31	0,28	0,09	0,18	0,20	0,19	—	2,25
Cr	5,4	3,3	4,9	3,8	6,1	7,2	5,4	4,1	5,2	4,3
Co	—	—	—	—	0,11	0,19	0,26	—	—	—
Ni	3,3	8,3	3,2	5,5	2,7	2,5	3,1	4,3	4,2	3,4
Cu	10,1	11,1	8,6	11,8	0,4	0,4	14,4	20,9	21,6	15,2
Zn	30	150	32	94	4	4	22	59	57	47
Ga	0,05	0,30	0,09	0,36	—	0,03	—	0,18	0,07	0,32
As	3,29	0,48	3,19	1,91	—	—	3,31	2,49	2,72	0,22
Y	14,2	0,2	24,4	7,2	17,2	2,9	33,3	2,6	18,9	—
Mg	5500	8300	5120	4700	6900	7900	8990	6470	5900	6400
Si	7040	2450	8130	450	13220	13730	8140	9210	6960	24890



Э	<i>Ledum palustre</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Vaccinium Vitis-idaea</i>	<i>Salix lanata</i>	<i>Cladonia stellaris</i>	<i>Cladonia tygia</i>	<i>Larix sibirica</i>	<i>Eriophorum angustifolium</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Equisetum arvense</i>
P	2780	1940	3210	1890	3240	3250	2990	2680	2790	2150
S	410	800	—	1200	—	—	—	1100	—	3600
K	—	4600	—	10400	—	—	—	3800	—	28793
Ca	2600	5300	3900	11100	2200	2500	3000	2300	2600	10100
Ti	87	188	100	282	251	320	12	199	15	52
Mn	1230	1330	1240	1140	560	590	710	640	890	650
Fe	—	—	—	—	270	425	—	—	—	—
Sr	—	—	—	50	—	—	—	—	—	25

Таблица 6

Медианное содержание химических элементов в растениях в зависимости от территории произрастания (мг/кг)

ХЭ	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3
V	<0,09	<u>0,63</u> 0,17–1,28	<u>0,43</u> 0,2–0,77
Cr	<u>6,05</u> 5,4–6,7	<u>4,40</u> 3,7–5,3	<u>5,29</u> 4,4–6,9
Co	—	—	<u>0,07</u> <0,02–0,37
Ni	<u>3,5</u> 2,7–4,5	<u>3,5</u> 3,2–4,3	<u>3,3</u> 2,7–3,9
Cu	<u>&lt;0,4</u> <0,4–11,7	<u>14,6</u> 5,6–22,1	<u>8,8</u> <0,4–15,8
Zn	<u>25</u> 16–52	<u>48</u> 31–78	<u>29</u> 4–49
Ga	<u>0,08</u> 0,03–0,15	<u>0,18</u> 0,03–0,36	<u>0,05</u> <0,02–0,19
As	—	<u>3,17</u> 0,96–5,71	<u>2,24</u> <0,02–3,42
Y	—	<u>29,1</u> <0,02–41,9	<u>16,8</u> 5,7–29,7
Mg	<u>8900</u> 7700–10200	<u>5300</u> 3400–6600	<u>5700</u> 4700–7200
Si	<u>7600</u> 5700–11100	<u>9200</u> 6900–13400	<u>9400</u> 7000–15000
P	<u>2940</u> 2580–3270	<u>2900</u> 2150–3090	<u>2990</u> 2350–3260
S	<u>&lt;200</u> <200–760	<u>480</u> <200–1060	<u>&lt;200</u> <200–1170
K	<u>&lt;300</u> <300–3900	<u>&lt;300</u> <300–6500	<u>&lt;300</u> <300–6300
Ca	<u>3200</u> 2400–4800	<u>3300</u> 2300–6500	<u>3200</u> 2600–5020
Ti	<u>160</u> 20–260	<u>83</u> 12–202	<u>172</u> 59–342
Mn	<u>797</u> 650–1130	<u>740</u> 620–1090	<u>680</u> 590–1150
Fe	—	—	<u>&lt;50</u> <50–570
Sr	—	<u>&lt;7</u> <7–11	<u>&lt;7</u> <7–14

Числитель — медианное значение концентрации, знаменатель — первый и третий квартили.

Таблица 7

Координаты мест посещений

n	place	name	latitude	longitude	n	place	name	latitude	longitude
1	С.тайга	багульник	64,58598	70,94183	37	Лесотундра	брусника	65,58197	72,11540
2	С.тайга	багульник	64,51162	71,16405	38	Лесотундра	брусника	65,81552	71,03008
3	С.тайга	багульник	64,52786	72,16885	39	Лесотундра	брусника	65,75344	75,69913
4	С.тайга	берёза	64,56671	70,94138	40	Лесотундра	ива	65,59483	72,00751
5	С.тайга	берёза	64,51162	71,16405	41	Лесотундра	ива	65,81552	71,03008
6	С.тайга	берёза	64,58751	72,21848	42	Лесотундра	ива	65,74363	75,71055
7	С.тайга	брусника	64,37391	71,58059	43	Лесотундра	кл.звёздчатая	64,58121	72,20351
8	С.тайга	брусника	64,37391	71,58059	44	Лесотундра	кл.звёздчатая	65,43226	75,70997
9	С.тайга	брусника	64,58121	72,20351	45	Лесотундра	кл.звёздчатая	65,74461	75,70997
10	С.тайга	ива	64,50726	71,03552	46	Лесотундра	кл.мрачная	65,61874	71,88978
11	С.тайга	ива	64,26743	70,9437	47	Лесотундра	кл.мрачная	65,46921	73,43226
12	С.тайга	ива	64,37391	71,58059	48	Лесотундра	кл.мрачная	65,82544	75,71075
13	С.тайга	кл.звёздчатая	64,79944	70,94532	49	Лесотундра	лиственница	65,59483	72,00751
14	С.тайга	кл.звёздчатая	64,48877	71,04145	50	Лесотундра	лиственница	65,81479	70,99592
15	С.тайга	кл.звёздчатая	64,52836	72,16651	51	Лесотундра	лиственница	65,74461	75,70997
16	С.тайга	кл.мрачная	64,58493	70,94532	52	Лесотундра	пушица	65,78911	71,53417
17	С.тайга	кл.мрачная	64,48877	71,04145	53	Лесотундра	пушица	65,74567	71,6925
18	С.тайга	кл.мрачная	64,52786	72,1688	54	Лесотундра	пушица	65,82544	75,71075
19	С.тайга	лиственница	64,56671	70,94138	55	Лесотундра	сосна	65,74567	71,20916
20	С.тайга	лиственница	64,58493	70,94532	56	Лесотундра	сосна	65,57803	73,07286
21	С.тайга	лиственница	64,58121	72,20351	57	Лесотундра	сосна	65,71098	74,16663
22	С.тайга	пушица	64,51162	71,16405	58	Лесотундра	хвощ	65,55356	72,24153
23	С.тайга	пушица	64,52836	72,16651	59	Лесотундра	хвощ	65,90652	74,20425
24	С.тайга	пушица	64,42165	71,99564	60	Лесотундра	хвощ	65,90786	75,75230
25	С.тайга	сосна	64,58493	70,94532	61	Лесотундра	хвощ	65,46922	73,43225
26	С.тайга	сосна	65,59914	72,22268	62	Ю.тундра	багульник	65,51944	73,89777
27	С.тайга	сосна	64,42056	72,00008	63	Ю.тундра	багульник	65,63702	74,32866
28	С.тайга	хвощ	64,50726	71,03552	64	Ю.тундра	багульник	67,78527	75,48186
29	С.тайга	хвощ	64,50799	71,03507	65	Ю.тундра	брусника	66,48380	73,92025
30	С.тайга	хвощ	64,37391	71,58059	66	Ю.тундра	брусника	65,81552	71,03008
31	Лесотундра	багульник	65,60213	72,00791	67	Ю.тундра	брусника	68,04344	75,52311
32	Лесотундра	багульник	65,58197	72,11540	68	Ю.тундра	ива	65,51944	73,89778
33	Лесотундра	багульник	65,74461	75,70997	69	Ю.тундра	ива	67,78527	75,48186
34	Лесотундра	берёза	65,59972	72,03813	70	Ю.тундра	ива	68,25058	75,74994
35	Лесотундра	берёза	65,55356	72,24153	71	Ю.тундра	ива	67,91952	74,99752
36	Лесотундра	берёза	65,90652	74,20425	72	Ю.тундра	кл.звёздчатая	66,48380	73,92025

Окончание Табл. 7

n	place	name	latitude	longitude	n	place	name	latitude	longitude
73	Ю.тундра	кл.звёздчатая	67,76963	75,54088	82	Ю.тундра	лиственница	66,52038	73,89658
74	Ю.тундра	кл.звёздчатая	68,04344	75,52311	83	Ю.тундра	лиственница	67,91952	74,99752
75	Ю.тундра	кл.звёздчатая	67,91711	75,03992	84	Ю.тундра	лиственница	67,89675	75,46627
76	Ю.тундра	кл.мрачная	67,74619	75,26992	85	Ю.тундра	пушица	65,51952	73,89583
77	Ю.тундра	кл.мрачная	67,74619	75,26992	86	Ю.тундра	пушица	65,63702	74,32861
78	Ю.тундра	кл.мрачная	66,48380	73,92025	87	Ю.тундра	пушица	65,81552	71,03008
79	Ю.тундра	кл.мрачная	67,76963	75,54088	88	Ю.тундра	хвощ	66,51772	73,88197
80	Ю.тундра	кл.мрачная	67,97258	75,47141	89	Ю.тундра	хвощ	66,31844	73,88186
81	Ю.тундра	кл.мрачная	67,91711	75,03991	90	Ю.тундра	хвощ	68,24291	75,74708

