

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ  
РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ  
ОЛЕНЬИХ ПАСТБИЩ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

© 2021 г. Д. В. Московченко<sup>1</sup>, \*, Е. А. Романенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия

\*e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

Поступила в редакцию 02.02.2021 г.

После доработки 31.03.2021 г.

Принята к публикации 15.09.2021 г.

В центральной части полуострова Ямал исследован микроэлементный состав растений, входящих в пищевую рацион северного оленя. В лишайниках, листьях кустарников, доминирующих видах разнотравья, кустарничков, злаков, осоковых определено содержание 20 элементов. С учетом зольности проведены подсчеты концентрации микроэлементов в золе и абсолютно сухом веществе. По сравнению с кларком растительности, зола растений Ямала отличается повышенными концентрациями Mn, Ti, Zn, Ni, Ba, Co, Ga, Ag и сниженными – Mo, Sn. Отмечено активное накопление Mn и Zn в листьях кустарничков, резкий дефицит Mo во всех группах растений. Для оценки сбалансированного поступления элементов в организм животных более целесообразно использовать подсчеты концентрации в абсолютно сухом веществе. Для большинства видов растений концентрации физиологически важных элементов (Cu, Zn, Co) находятся на уровне экологического оптимума. Кустистые и листоватые лишайники, составляющие основу кормового рациона в зимний и ранневесенний период, отличаются крайне низким содержанием микроэлементов, что требует компенсации за счет использования зеленых кормов в теплое время года.

*Ключевые слова:* Западная Сибирь, полуостров Ямал, олени пастбища, растительность, микроэлементный состав, коэффициент биологического накопления

DOI: 10.31857/S0033994621040099

Освоение ненцами тундровых просторов привело к формированию у них уникального хозяйственного комплекса, основу которого составляет оленеводство. В настоящее время одним из главных центров оленеводства в России и мире является полуостров Ямал. В Ямальском районе ЯНАО выпасается до 280 тыс. голов северного оленя [1]. В течение всего года олени находятся на пастбищном содержании и нуждаются в естественных растительных ресурсах. Потребности в корме весьма велики – северный олень в снежный период на пастбище потребляет в сутки 3.9 кг корма [2]. Значительный рост поголовья, а также разработка месторождений газа привели к сокращению площади пастбищ, а на отдельных участках – к опустыниванию территорий [1, 3]. Подсчеты кормовых ресурсов Ямала показали, что по сравнению с 1930-ми гг. запасы кормовых лишайников, жизненно важных для северного оленя, сократились в десятки и сотни раз: с 3–6 до 0.01–0.43 т/га в лишайниково-моховых тундрах [4]. Общие запасы зеленых кормов снизились в разы: трав – в 1.5–2.0 раза, низкорослых кустарников (до 0.5 м) – почти в 8 раз, высокорослых – в 2 раза [5, 6].

В условиях дефицита пастбищ особенно актуальной становится оценка качества кормов, одним из критериев которого является сбалансированный химический состав. Удовлетворение потребностей животных в различных элементах питания обеспечивает наиболее полное проявление генетически обусловленных показателей продуктивности [7]. Нехватка минеральных элементов приводит к снижению массы животных и возникновению заболеваний, рождению нежизнеспособного потомства [8]. При этом важен как макро-, так и микроэлементный состав кормовых ресурсов.

Химический состав и урожайность кормовых видов зависят от многих факторов: температурного режима, увлажнения, количества света. Состав почв также оказывает большее влияние на эти параметры. Известно, что почвы севера Западной Сибири характеризуются относительно низкими природными концентрациями микроэлементов [9, 10]. Согласно В.В. Ковальскому [11], эта территория отнесена к таежно-лесной биогеохимической зоне, основными свойствами которой являются недостаток Ca, P, K, Co, Cu, I, Mo, B, Zn и избыток Sr. Однако даже при низкой

концентрации в почвах возможно превышение содержания тяжелых металлов в живых организмах. К примеру, при низком уровне содержания Hg и Cd в почвах ЯНАО отмечено накопление этих элементов в растениях и высокое содержание в органах и тканях северного оленя [12].

Изучение микроэлементного состава кормовых тундровых растений впервые было проведено для пастбищ Таймыра более полувека назад [13]. В Якутии отмечено повышенное содержание в кормовых растениях Pb и Cd, что привело к накоплению в органах и тканях северного оленя этих металлов, а также превышение их ПДК в молоке [14]. На Ямале химический состав растений исследовался главным образом в связи с оценкой влияния объектов газодобычи на экосистемы [15–17] либо как фактор геохимической дифференциации тундровых ландшафтов [18].

Целью данной работы является оценка микроэлементного состава кормовых видов оленьих пастбищ полуострова Ямал.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

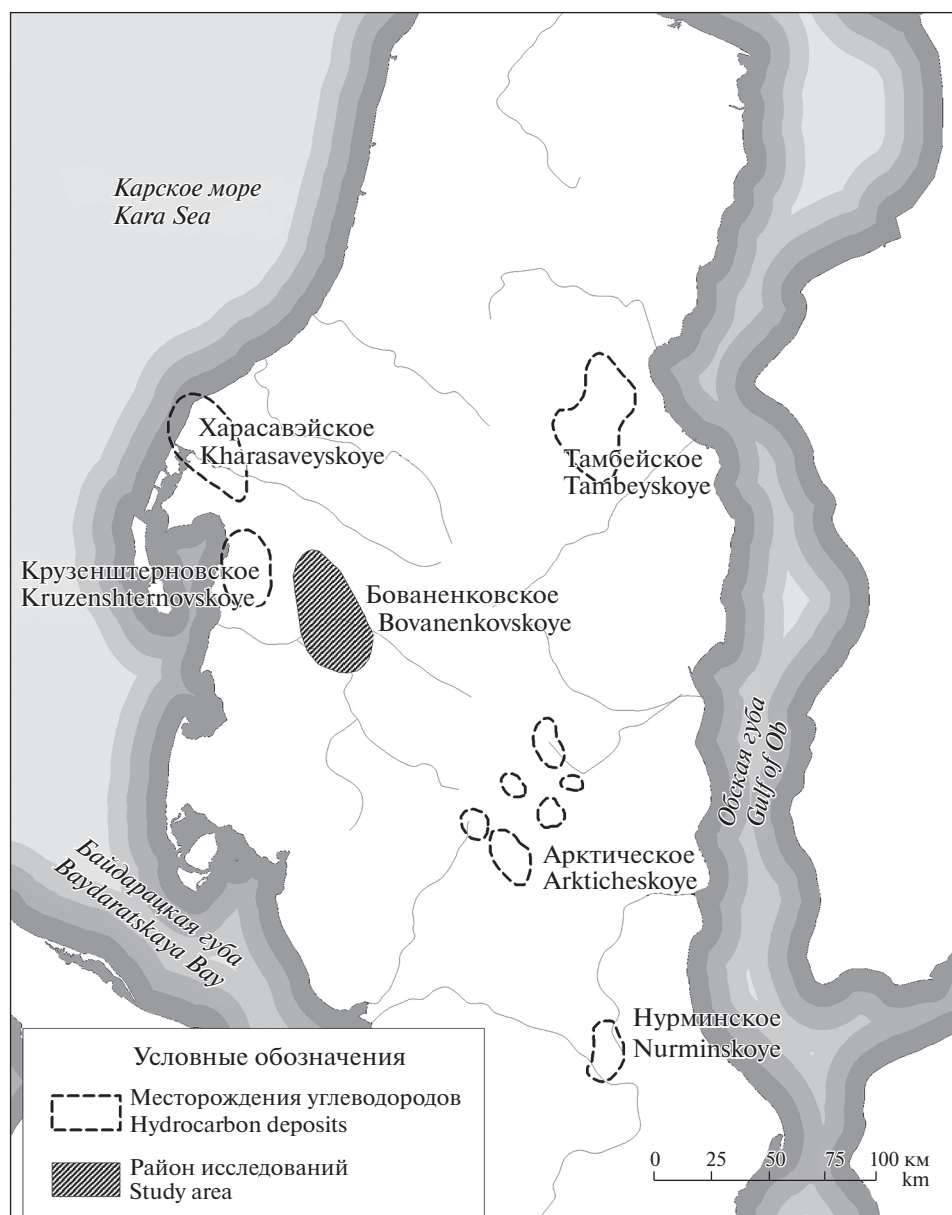
Отбор проб растений выполнен в центральной части полуострова Ямал в междуречье Сеяхи и Юнетаяхи (70°23'–70°26' с. ш., 68°10'–68°28' в. д.) в окрестностях Бованенковского газового месторождения (рис. 1). Здесь в зоне прямого и косвенного воздействия объектов газодобычи оказались оленьи пастбища площадью 170.5 тыс. га [19]. Согласно геоботаническому районированию, исследуемая территория относится к тундровой геоботанической зоне, подзоне субарктических тундр, Ямальской геоботанической провинции [20]. На плакорных местообитаниях распространены бугорковатые тундры с кустарничково-лишайниково-зеленомошной растительностью. Склоны водоразделов к пойме, а также широкие дренируемые ложбины заняты ивняковыми травяно-моховыми сообществами с доминированием *Salix glauca* L. в кустарниковом ярусе и преобладанием в напочвенном покрове *Equisetum arvense* L., *Veratrum lobelianum* Bernh., *Dicranum elongatum* Schleich. ex Schwägr. Лишайниковые тундры приурочены к песчаным грунтам. Плотный мохово-лишайниковый покров формируют *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *Cladonia mitis* Sandst., *Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain., *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach., *Polytrichum alpestre* Норпе, *Aulacomnium turgidum* (Wahlenb.) Schwägr., *Dicranum elongatum* [21].

Отбор проб осуществлялся в период вегетации (июль – август) на эталонных площадках, выбор которых проводили с учетом характера растительности и положения в мезорельефе. Площадки охватывали основные сообщества, используемые в качестве пастбищ: кустарничково-лишай-

никово-зеленомошные и лишайниковые тундры водоразделов, кустарниковые (ивняковые и ерниковые) сообщества пологих склонов, осоково-моховые заболоченные тундры понижений. Объектами исследования служили эдификаторы и доминанты растительных сообществ, используемые в пищу северным оленем. Известно, что в пищу олени употребляют очень много видов растений – общий список составляет до 600 видов, т.е. охватывает большую часть полярной флоры [22]. К хорошо и отлично поедаемым на Ямале отнесено 124 вида из 27 семейств – примерно 30% всего видового состава сосудистых растений, выявленного на полуострове Ямал [23]. На каждой эталонной площадке отбирали не менее 5 экземпляров одного вида из расчета >200 г фитомассы на одну пробу. В кустарниковых сообществах опробована *Salix glauca* L. ( $n = 11$ ), *Betula nana* L. ( $n = 8$ ), травянистые растения – *Nardosmia frigida* (L.) Hook. (= *Petasites frigidus* (L.) Fr.) ( $n = 4$ ), *Ranunculus borealis* Trautv. ( $n = 5$ ), *Rumex arcticus* Trautv. ( $n = 3$ ), *Artemisia tilesii* Ledeb. ( $n = 9$ ), *Equisetum arvense* L. ( $n = 2$ ). В кустарничково-лишайниково-зеленомошных и лишайниковых тундрах – *Vaccinium vitis-idaea* ssp. *minus* (Lodd., G. Lodd. & W. Lodd.) Hultén (= *Vaccinium vitis-idaea* L.) ( $n = 4$ ), лишайники – *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg. ( $n = 6$ ), *Cetraria nivalis* (L.) Ach. (= *Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt & A. Thell) ( $n = 1$ ), *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. ( $n = 3$ ), *Thamnia vermicularis* (Sw.) Schaer. ( $n = 2$ ). В сообществах с участием злаков в покрове были опробованы *Deschampsia cespitosa* subsp. *borealis* (Trautv.) Á. Löve & D. Löve ( $n = 4$ ), *Alopecurus alpinus* Vill., *Festuca rubra* L. В заболоченных понижениях объектами опробования были *Rubus chamaemorus* L. ( $n = 4$ ), *Carex stans* Drejer (= *Carex aquatilis* var. *minor* Boott) ( $n = 6$ ), *Eriophorum polystachion* L. (= *Eriophorum angustifolium* Honck.) и *E. scheuchzeri* Норпе ( $n = 3$ ).

У травянистых растений и кустарничков отбирали всю наземную часть, у эпигейных лишайников – талломы, у кустарников – ветви с листьями, которые в лабораторных условиях разделяли и анализировали отдельно (в данной статье представлены результаты только по листьям).

Все площадки были расположены на удалении не менее 0.5 км от объектов инфраструктуры месторождения (разведочных буровых, вахтовых поселков). Густая сеть техногенных объектов не позволяет на данном участке выбрать площадки, не подверженные атмосферным выпадениям поллютантов. Геоэкологические исследования на месторождениях углеводородов, в которых была проведена оценка аэротехногенного загрязнения, определяют радиус воздействия объектов инфраструктуры от 500–1200 м [24] до 3 км [15]. Таким образом, нельзя исключать поступления загрязнителей, влияющих на состав растений. Однако в ходе опробования на эталонных площадках не

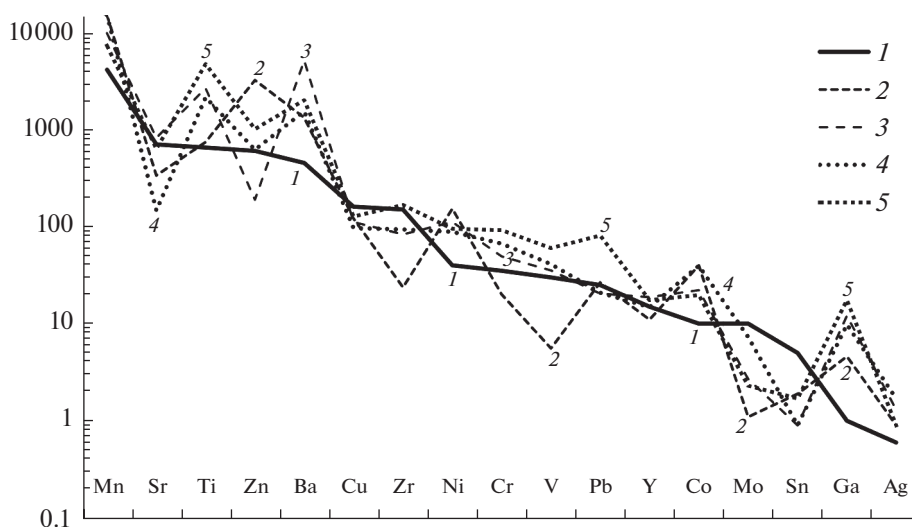


**Рис. 1.** Район исследований.  
**Fig. 1.** Study area.

было отмечено какой-либо физиологической реакции растений, свидетельствующей о негативном техногенном воздействии (хлороз, некроз, и т.д.), в то время как в непосредственной близости от промышленных объектов наблюдались случаи усыхания листьев кустарников и вегетативных органов травянистых растений. Это позволяет оценить уровень загрязнения на участках опробования как умеренный, не вызывающий значительного изменения элементного состава. Вопрос о реакции растений на загрязнение, вызванное деятельностью объектов газодобычи, исследован недостаточно. Отметим, что приводились данные

о стимулирующем влиянии азотсодержащих аэротехногенных поллютантов, поступающих от объектов инфраструктуры газовых месторождений Ямала на рост лишайников и повышение продуктивности тундровых фитоценозов [15].

В лабораторных условиях пробы растений измельчали, высушивали в фарфоровых тиглях при  $T = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , затем воздушно-сухую навеску растений озоляли в муфеле при  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  и растирали в агатовой ступке до состояния пудры. Для пересчета содержания микроэлементов на абсолютно-сухое вещество была вычислена зольность растений (%), для чего пробы взвешивали до и после



**Рис. 2.** Биогеохимический спектр растений и лишайников центрального Ямала.

По горизонтали – химические элементы; по вертикали – содержание элементов, мг/кг золы. 1 – среднее содержание в золе растений суши [27]; 2 – *Salix glauca* L.; 3 – разнотравье; 4 – осоки; 5 – лишайники.

**Fig. 2.** Biogeochemical spectrum of plants and lichens in central Yamal.

X-axis – chemical elements; y-axis – content of elements, mg/kg of ash. 1 – the average content in the plants [27]; 2 – *Salix glauca* L.; 3 – herbs; 4 – sedges; 5 – lichens.

озоления. Анализ элементного состава золы растений произведен методом приближенно-количественного спектрального анализа в центральной лаборатории Главтюменьгеологии (в настоящее время ООО “Тюменская Центральная лаборатория”). Определение микроэлементного состава проводилось на спектрографе СТЭ-1 по методике спектрального анализа УСА-5 методом просыпки. Пороговые концентрации микроэлементов, определяемые при использовании метода, составляли (мг/кг): P – 500; Ba, Sr – 200; Ti, Zr – 100; Sc – 30; Zn, Y – 20; Cr, Mn, Cd – 10, Ga – 5; Ni, Cu, Pb, Co – 2; Mo – 0.2; Ag – 0.05.

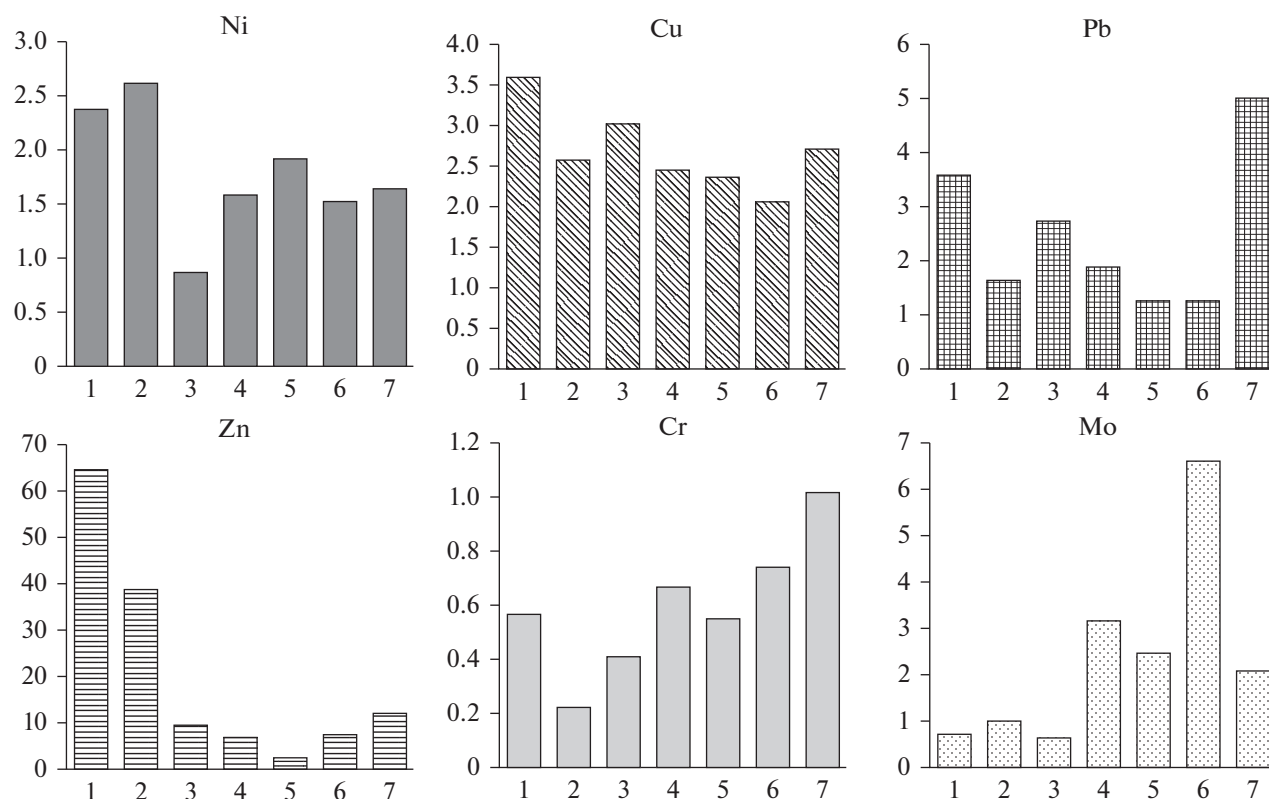
По полученным результатам элементного состава растений и лишайников с помощью программы Microsoft Excel рассчитаны статистические показатели: M – среднее арифметическое значение элементов и SD – среднеквадратичное отклонение (табл. 2).

Для оценки накопления элементов в растительных образцах был использован коэффициент биологического накопления Кб [25], представляющий собой отношение содержания элемента в золе растения к величине кларка верхней части континентальной земной коры по А.П. Виноградову [26]. При сравнении со среднемировыми показателями содержания элементов в растениях использованы подсчеты В.В. Добровольского [27]. Потенциальную физиологическую реакцию на недостаток или избыток элемента в фитомассе определяли путем сопоставления с пороговыми границами, приведенными в [28].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По сравнению со среднемировыми величинами содержания микроэлементов в золе растений [27] фитобиота Ямала отличается повышенными концентрациями Mn, Ti, Zn, Ni, Ba, Co, Ga, Ag и сниженными – Mo, Sn (рис. 2). В зольном составе растений преобладает Mn, содержание которого в пересчете на золу превышает 1%. Затем, в порядке уменьшения концентраций, следуют Zn, Ti, Ba, Sr, Ni, Zr. Доминирование марганца в микроэлементном составе *Ledum palustre* L. и *Eriophorum polystachion* L. было отмечено в Уренгойских тундрах [29]. Преобладание в составе тундровых растений Mn, Ba, Sr подчеркивалось в работах М.А. Глазовской [30], В.В. Добровольского и др. [31]. Повышенное содержание Mn и Ba в *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. и *Vaccinium vitis-idaea* L. было отмечено в [32]. Согласно А.И. Перельману [25], тундровому типу биологического круговорота веществ свойственно преобладание таких элементов, как Al, Fe, Mn. Полученные результаты подтверждают марганцевую биогеохимическую специализацию растений тундры.

Слабое накопление свойственно Mo и Sn. Содержание Mo в лишайниках и листьях кустарников в 5–9 раз меньше кларка растительности, Sn в 2.5–5.5 раз. Sn и Mo – аниогенные элементы, которые слабо накапливаются в растениях тундр. Наблюдается значительное варьирование содержания в различных видах растений таких элементов, как Sr, Zn, Zr, Pb, Mo, V и относительно однородное распределение Mn, Ni, Y, Cu (рис. 2). Наибольшая концентрация Zn отмечена в золе



**Рис. 3.** Значения коэффициента биологической аккумуляции (Кб) в растениях и лишайниках полуострова Ямал. По горизонтали – виды и группы видов; по вертикали – значения Кб. 1 – *Betula nana* L., листья; 2 – *Salix glauca* L., листья; 3 – кустарнички; 4 – злаки; 5 – разнотравье; 6 – осоки; 7 – лишайники.

**Fig. 3.** Bioaccumulation factor (Cb) in plants and lichens of the Yamal Peninsula.

X-axis – species and groups of species; y-axis – bioaccumulation factor. 1 – *Betula nana* L., leaves; 2 – *Salix glauca* L., leaves; 3 – subshrubs; 4 graminoids; 5 – herbs; 6 – sedges; 7 – lichens.

листьев кустарников. Лишайники отличаются повышенным содержанием в зольном остатке Ti, Cr, V, Pb. Высокое содержание Pb в *Cladonia alpestris* (L.) Rabenh. на территории ЯНАО отмечено А.Ю. Опекуновым с соавторами [32]

Значения коэффициента биологического накопления Кб для Mn, согласно проведенным подсчетам, варьировали для разных групп растений и лишайников в пределах 7.3–15.0, в то время как среднемировое значение этого показателя для растительности суши составляет 6.68 [27]. Минимально накопление Mn в лишайниках, максимально – в листьях кустарников. Согласно оценке биологического накопления элементов [25], Mn отнесен к элементам слабого накопления и среднего захвата ( $K_b = n \times 10^{-1} - n$ ). На Ямале Mn относится к категории сильно накапливаемых элементов ( $K_b = n - n \times 10^2$ ). Значения Кб некоторых других элементов представлены на рис. 3.

Zn активно накапливается в листьях кустарников ( $K_b = 40-65$ ). Полученные значения многократно превышают среднемировое значение равное 11.76 [27]. В других группах растений коэффициент биологического накопления Zn изменяется от 2

до 12, что характеризует его как сильно накапливаемый элемент. Это соответствует оценке биологического накопления Перельмана [25]. Интенсивной транслокации Zn из почвы в растения способствует его высокая подвижность в кислых почвах, а также повышенное содержание в породах морского генезиса, свойственное центральному Ямалу [9]. Накопление Zn кустарниками связано еще и с тем, что *Salix glauca* распространена главным образом на эрозионных склонах, где высока обеспеченность элементами минерального питания за счет растворения в грунтовых водах химических веществ и соединений, содержащихся в мерзлых породах [33].

Накопление Mo максимально в осоковых (рис. 3), но даже для них значение  $K_b = 6.6$  существенно меньше среднемирового значения  $K_b = 9.69$  по В.В. Добровольскому [27]. Mo относится к элементам слабого накопления – среднего захвата. Этому элементу свойственна низкая подвижность в ландшафтах кислого глеевого класса, в кислой среде он образует труднорастворимые молибдаты [34]. Поэтому накопление Mo в растениях Ямала замедлено.

**Таблица 1.** Зольность доминантов растительного покрова тундр Ямала  
**Table 1.** Ash content in the dominant plant species of the Yamal tundra

Растения Plants	Зольность, % Ash content, %
Кустарники (листья): Shrubs (leaves):	
<i>Betula nana</i>	3.4
<i>Salix glauca</i>	5.8
Кустарнички и полукустарнички в том числе: Subshrubs and dwarf subshrubs including:	2.9
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> ssp. <i>minus</i>	2.9
<i>Rubus chamaemorus</i>	4.8
Разнотравье: Herbs:	9.4
<i>Artemisia tilesii</i>	9.7
<i>Equisetum arvense</i>	11.2
<i>Rumex arcticus</i>	9.4
<i>Nardosmia frigida</i>	6.1
Осоковые: Sedges:	
<i>Carex stans</i>	7.74
<i>Eriophorum polystachyon</i>	10.3
<i>E. scheuchzeri</i>	9.6
Злаки: Graminoids:	
<i>Deschampsia caespitosa</i>	5.1
<i>Alopecurus alpinus</i>	8.2
<i>Festuca rubra</i>	4.8
Лишайники: Lichens:	
<i>Cetraria nivalis</i> , <i>Cladina rangiferina</i> , <i>Peltigera aphthosa</i> , <i>Thamnolia vermicularis</i>	0.9

Значения Кб для Ni варьируют от 0.9 до 2.6, а Сг преимущественно деконцентрируется (Кб = 0.2–1.0). Слабое накопление сидерофильных элементов тундровыми растениями было ранее отмечено в Уренгойских тундрах [29]. Накопление Pb наиболее активно в лишайниках, что объясняет широкое применение их для индикации атмосферных выпадений загрязнителей [35]. Таким образом, в тундрах Ямала сильно накапливаются Mn, Zn; к элементам слабого накопления и среднего захвата относятся Mo, Ni, Cu, Pb, Ba, Sr; к элементам слабого и очень слабого захвата – V, Cr, Zr, Be, Y, Sn, Ga, у которых значения Кб изменяются в диапазоне  $n \times 10^{-1}$ – $n \times 10^{-2}$ .

Однако для оценки поступления микроэлементов из растения в организм оленей при питании важна оценка содержания не в зольном остатке, а в сухом веществе. Как показали проведенные исследования, зольность представителей фитобиоты Ямала значительно варьирует – от 0.9% (лишайники) до 9.4% (разнотравье) (табл. 1).

Максимальную зольность имеет *Equisetum arvense*, что вызвано активным накоплением этим растением кремния. Большинство видов, составляющих основу кормового рациона северного оленя (лишайники, листья кустарников), имеют низкую зольность. Низкая зольность ранее была отмечена для растений лесотундры Западной Сибири [36].

Полученные результаты содержания микроэлементов в пересчете на абсолютно сухое вещество приведены в табл. 2. В ней же представлены экологические нормы содержания микроэлементов по [28].

С учетом экологических градаций выявлено избыточное содержание Mn практически во всех группах видов (кроме лишайников). Содержание Zn сильно варьирует в зависимости от вида растений. Как отмечено М.П. Тентюковым [18], в тундрах Ямала концентратом Zn является *Betula nana*. Высокое содержание Zn в *Vaccinium vitis-idaea* ssp. *minus* на территории ЯНАО отмечено

**Таблица 2.** Среднее содержание химических элементов в растениях и лишайниках центральной части полуострова Ямал, мг/кг абс. сух. веса  
**Table 2.** Average content of trace elements in plants and lichens of the central part of the Yamal Peninsula, mg/kg absolute dry weight

Элементы Elements	Группы видов Species groups										Среднемировое содержание [27] Global average [27]	Экологические градации по Кабата-Пендас [28] Ecological gradations by Kabata-Pendias [28]		
	кустарники shrubs		кустарнички subshrubs n = 8	злаки graminoids n = 10	разногравье herbs n = 29	осоки sedges n = 9	лишайники lichens n = 12	недостаток deficient	норма sufficient or normal	избыток excessive or toxic				
	<i>Betula nana</i> n = 8	<i>Salix glauca</i> n = 11												
Mn	600 ± 100	800 ± 200	440 ± 80	500 ± 200	900 ± 300	900 ± 600	70 ± 60	10–30	30–300	400–1000	205	10–30	30–300	400–1000
V	0.79 ± 0.72	0.33 ± 0.38	н.о.	2.7 ± 2.6	3 ± 4	3 ± 5	0.54 ± 0.36	–	0.2–1.5	–	1.5	–	0.2–1.5	–
Ti	100 ± 100	40 ± 70	80 ± 40	100 ± 100	200 ± 200	200 ± 300	40 ± 40	–	–	50–200	32.5	–	–	50–200
Cr	1.7 ± 1.2	1.2 ± 0.9	1.1 ± 0.9	4 ± 7	5 ± 4	5 ± 9	0.83 ± 0.48	–	0.1–0.5	5–30	1.8	–	0.1–0.5	5–30
Zr	2.2 ± 3.6	1.4 ± 2.6	4 ± 5	6 ± 8	10 ± 10	7 ± 10	1.5 ± 1.3	–	<15	–	7.5	–	<15	–
Be	0.05 ± 0.07	н.о.	0.03 ± 0.04	0.10 ± 0.06	0.15 ± 0.11	н.о.	0.02 ± 0.01	–	<1–7	–	0.1	–	<1–7	–
Y	0.32 ± 0.29	0.64 ± 0.85	0.49 ± 0.42	1.0 ± 0.7	1.3 ± 1.0	1.1 ± 1.4	0.16 ± 0.067	–	–	–	0.8	–	–	–
Sc	0.15 ± 0.13	н.о.	н.о.	0.8 ± 0.6	0.8 ± 0.73	0.48 ± 0.15	0.12 ± 0.07	–	–	–	–	–	–	–
Ba	100 ± 90	80 ± 60	90 ± 50	90 ± 40	300 ± 300	120 ± 30	20 ± 10	–	<500	–	22.5	–	<500	–
Sr	30 ± 40	20 ± 20	10 ± 10	20 ± 20	80 ± 100	10 ± 10	6 ± 2	–	–	–	35.0	–	–	–
Nb	0.32 ± 0.19	н.о.	0.22 ± 0.27	0.5 ± 0.3	0.57 ± 0.55	0.62 ± 0.88	0.08 ± 0.05	–	–	–	–	–	–	–
Ni	5 ± 3	9 ± 3	1.5 ± 1.4	6 ± 3	9 ± 5	7 ± 4	0.86 ± 0.34	–	0.1–5	10–100	2.0	–	0.1–5	10–100
Co	0.75 ± 0.54	2 ± 2	0.52 ± 0.42	2.1 ± 1.4	2.1 ± 2.4	3 ± 4	0.18 ± 0.12	–	0.02–1	15–50	0.5	–	0.02–1	15–50
Mo	0.03 ± 0.01	0.07 ± 0.06	0.15 ± 0.22	0.2 ± 0.15	0.17 ± 0.2	0.57 ± 0.46	0.02 ± 0.03	0.1–0.3	0.2–5	10–50	0.5	0.1–0.3	0.2–5	10–50
Cu	6 ± 2	7 ± 2	5 ± 1	8 ± 4	10 ± 4	8 ± 3	1.1 ± 0.18	–	5–30	–	8.0	–	5–30	–
Zn	200 ± 200	190 ± 90	20 ± 10	40 ± 70	30 ± 30	50 ± 60	9 ± 3	10–20	27–150	–	30	10–20	27–150	–
Pb	1.9 ± 1.1	1.5 ± 1.2	1.3 ± 0.52	2.1 ± 2.0	2.0 ± 1.8	1.6 ± 1.3	0.73 ± 0.46	–	5–10	–	1.25	–	5–10	–
Sn	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.13	0.11 ± 0.03	н.о.	0.09 ± 0.09	0.07 ± 0.06	0.02 ± 0.01	–	–	–	0.25	–	–	–
Ag	0.61 ± 0.84	0.05 ± 0.09	0.16 ± 0.11	н.о.	0.1 ± 0.25	0.13 ± 0.24	0.01 ± 0.01	–	0.5	5–10	0.03	–	0.5	5–10
Ga	0.31 ± 0.16	0.27 ± 0.21	0.19 ± 0.17	0.82 ± 0.77	0.9 ± 0.83	0.76 ± 0.78	0.16 ± 0.13	–	–	–	0.05	–	–	–

Примечание. Приведено среднеарифметическое значение и стандартное отклонение  $m \pm sd$ ; н.о. – содержание элемента ниже предела обнаружения более чем в 50% проб; прочерк – нет данных. Содержание Cd и La было ниже чувствительности определения более чем в 70% изученных образцов.  
 Note. The arithmetic mean value and standard deviation  $m \pm sd$  are given; н.о. – the content of the element is below the detection limit in more than 50% of samples; dash – no data. The content of Cd and La was below the detection limit in more than 70% of samples.

А.Ю. Опекуновым с соавторами [32]. В.Б. Башкин [15] также отмечал интенсивное накопление катионогенных элементов (Zn, Mn) в растениях Ямала. Интенсивное накопление Zn некоторыми видами подтверждается нашими данными. Среднее содержание в листьях *Salix glauca* и *Betula nana* составляет 187 и 180 мг/кг в соответственно, что многократно больше среднего значения 30 мг/кг для растительности Земли по В.В. Добровольскому [27]. Свойственные кустарникам концентрации Zn находятся в области избыточного содержания. Однако в лишайниках выявлен значительный дефицит этого элемента.

Содержание Cu, Ni максимально в разнотравье, для большинства видов характерны значения на уровне экологического оптимума, низкое содержание свойственно лишайникам. Практически у всех групп видов выявлен дефицит Mo, только в *Carex stans* этот элемент содержится в достаточном количестве. Максимальное количество Co содержатся в осоках, выше среднемировых значений содержание Co в злаках и разнотравье.

Обращает на себя внимание крайне низкое содержание практически всех элементов в лишайниках. Сопоставление полученных нами результатов с результатами аналогичных исследований в других регионах показало, что недостаток физиологически важных микроэлементов (в пересчете на абс. сухое вещество) является свойством кустистых лишайников. Так, лишайники Ямала близки по содержанию Zn, Cu, Ni Cr, Co, с лишайниками фоновых участков Кольского полуострова [37, 38]. Содержание Pb, в расчете на абсолютно сухое вещество, на обследованном нами участке составляет 0.73 мг/кг, в то время как в лишайниках Кольского полуострова — 1.42–1.92 мг/кг [37]. В таежной зоне Западной Сибири содержание элементов в *Cladonia stellaris*, представленное в [39], сходно с результатами, полученными на полуострове Ямал. Слабое накопление элементов мхами и лишайниками было отмечено в аркто-тундровых ландшафтах Новой Земли [40].

Эпигейные кустистые лишайники составляют основу кормового рациона северного оленя в холодный период года. Наибольшее кормовое значение имеют около 20 видов лишайников, из которых олени наиболее охотно поедают кустистые кладонии и цетрарии [22]. Известно, что питание оленей изменяется по сезонам. Летом они питаются в основном зеленой растительностью, ягель

составляет от 15 до 40% пищи. Осенью питание у оленей смешанное с преобладанием ягеля, зимой ягель становится основой их питания, а весной происходит переход на зеленые корма. Состав зеленых кормов очень разнообразен: он включает большинство видов растений: разнотравье, пушицы, осоки, кустарники, злаки, хвощи [23]. Таким образом, результаты исследования показывают, что в зимнее время северные олени, питающиеся преимущественно лишайниками, испытывают дефицит микроэлементов. Ранее отмечалось, что зимой в рационе питания не хватает минеральных веществ и витаминов [22]. Переход летом на зеленые корма позволяет сбалансировать рацион питания и восполнить дефицит жизненно важных микроэлементов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растения тундр центрального Ямала активно накапливают Mn и Zn, коэффициент биологического накопления этих элементов значительно превосходит среднемировые значения по В.В. Добровольскому. Содержание Zn варьирует от 9.1 мг/кг в лишайниках до 180 мг/кг в листьях кустарников. Аналогичным образом распределен Mn: максимальное содержание отмечено в листьях кустарников (до 758 мг/кг абс. сух веса), минимальное — в лишайниках (65.5 мг/кг). Аниогенные элементы Mo и Sn слабо накапливаются во всех группах растений, причем содержание Mo ниже физиологических норм. Содержание Sn в лишайниках и листьях кустарников в 2.5–5 раз меньше кларка растительности. Содержание Cu, Ni в большинстве видов находится на уровне экологического оптимума. Максимальное количество Mo, Cr, Co, V, Ti содержится в осоках. Содержание Cr, V и Co выше среднемировых значений в злаках и разнотравье, Ti — во всех отобранных пробах. Лишайники, составляющие основу рациона оленей в холодный период года, содержат крайне мало физиологически необходимых микроэлементов (при подсчете концентраций в абс. сухом веществе). Отмечена повышенная зольность разнотравья, что важно с позиции поступления минеральных веществ из фитомассы в организм оленей. Сбалансированное поступление микроэлементов требует сочетания зеленых и лишайниковых кормов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев С.М. 2015. Оленеводство в Ямало-Ненецком автономном округе: перспективы и проблемы. — Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 3(88): 103–107. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25811447>
2. Казьмин В.Д., Абатуров Б.Д. 2011. Количественная характеристика питания вольноживущих северного оленя (*Rangifer tarandus*) и овцебыка (*Ovibos moschatus*) на острове Врангеля. — Зоологический журнал. Т. 90. 5: 616–623. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16455987>



3. *Кряжимский Ф.В., Маклаков К.В., Морозова Л.М., Эктова С.Н.* 2011. Системный анализ биогеоценозов полуострова Ямал: имитационное моделирование воздействия крупнотадного оленеводства на растительный покров. — *Экология*. 5: 323–333. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17057717>
4. *Богданов В.Д., Головатин М.Г.* 2017. Сибирская язва на Ямале: экологический взгляд на традиционное оленеводство. — *Экология*. 2: 77–82. <https://doi.org/10.7868/S0367059717020056>
5. *Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N.* 2012. Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal Peninsula. — *Czech Polar Reports*. 2(2): 80–91. <https://doi.org/10.5817/CPR2012-2-8>
6. *Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N., Paskhalny S.P.* 2010. The change of tundra biota at Yamal peninsula (the North of the Western Siberia, Russia) in connection with anthropogenic and climatic shifts. — In.: *Tundras: Vegetation, Wildlife and Climate trends*. New York. P. 1–46. [http://www.novapublishers.org/catalog/product\\_info.php?products\\_id=13389](http://www.novapublishers.org/catalog/product_info.php?products_id=13389)
7. *Сариев А.Х., Чербакова Н.Н., Дербенев К.В., Федина Е.В.* 2019. Химический состав кормовых растений, произрастающих в зоне влияния промышленных предприятий. — *Вестник КрасГАУ*. 5: 68–74. [http://www.kgau.ru/vestnik/2019\\_5/content/10.pdf](http://www.kgau.ru/vestnik/2019_5/content/10.pdf)
8. *Новак Г.В., Бодрова Л.Ф.* 2015. Клинико-гематологические показатели северных оленей при применении различных типов кормления в условиях Ямала. — *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 6(56): 116–118. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25113556>
9. *Московченко Д.В.* 2013. Экогеохимия нефтедобывающих районов Западной Сибири. Новосибирск. 259 с.
10. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* 2019. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири. — *Почвоведение*. 4: 422–439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>
11. *Ковальский В.В., Андрианова Г.А.* 1970. Микроэлементы в почвах СССР. М. 182 с.
12. *Агбалян Е.В., Листищенко А.А.* 2017. Накопление поллютантов (ртути и кадмия) в почве, растениях и организме животных. — *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 3(96): 4–10. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34904650>
13. *Подкорытов Ф.М.* 1964. Микроэлементный состав основных видов кормов Потаповского опытно-производственного хозяйства Таймырского нац. округа. — В сб.: *Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине Сибири*. Красноярск. С. 47–49.
14. *Таркова М.Д.* 2007. Миграция свинца и кадмия в трофической цепи “почва-растение-северный олень” в зоне деятельности горнодобывающих предприятий Якутии: на примере Оймяконского района: Автореф. дис. ... к. б. н. Якутск. 23 с.
15. *Башкин В.В.* 2017. Биогеохимические циклы в тундровых экосистемах импактных зон газовой индустрии. — *Геохимия*. 10: 954–966. <https://doi.org/10.7868/S0016752517100028>
16. *Ермилов О.М., Грива Г.И., Москвин В.И.* 2002. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск. 148 с.
17. *Московченко Д.В.* 1995. Биогеохимические особенности ландшафтов полуострова Ямал и их оптимизация в связи с нефтегазодобычей: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. С-Пб. 24 с.
18. *Тентюков М.П.* 2010. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар. 260 с.
19. *Голвинёв А.В., Абрамов И.В.* 2014. Олени и газ: стратегии развития Ямала. — *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 4(27): 122–131. [http://www.ipdn.ru/\\_private/a27/122-131.pdf](http://www.ipdn.ru/_private/a27/122-131.pdf)
20. *Ильина И.С., Лапина Е.И., Лавренко Н.Н., Мельцер Л.И., Романова Е.А., Богоявленский Б.А., Махно В.Д.* 1985. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск. 251 с.
21. *Природная среда Ямала*. 1995. Тюмень. Т. 2. 108 с.
22. *Сыроечковский Е.Е.* 1986. Северный олень. М. 256 с.
23. *Морозова Л.М., Магомедова М.А.* 2004. Структура растительного покрова и растительные ресурсы полуострова Ямал. Екатеринбург. 63 с.
24. *Васиулина А.И., Московченко Д.В.* 2020. Оценка воздействия сжигания попутного нефтяного газа на таёжные ландшафты по данным анализа значений вегетационного индекса (NDVI). — *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 1(292): 14–21. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-1\(292\)-14-21](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-1(292)-14-21)
25. *Перельман А.И.* 1975. Геохимия ландшафта. М. 341 с.
26. *Виноградов А.П.* 1962. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — *Геохимия*. 7: 555–571.

27. Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. М. 400 с.
28. Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA. 505 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
29. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. 2012. Элементный состав растений Уренгойских тундр. – Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 12: 130–136. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18050792>
30. Глазовская М.А. 1988. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М. 328 с.
31. Добровольский В.В., Козаренко А.Е., Савельева Л.Е. 1986. Ландшафтно-геохимические особенности тундр побережья Баренцева моря. – В сб.: Геохимические исследования в лесных и тундровых ландшафтах. М. С. 3–13.
32. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. 2012. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО. – Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География. 4: 87–101. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18353646>
33. Ермохина К.А., Мяло Е.Г. 2013. Фитоиндикационное картографирование оползневых нарушений на центральном Ямале. – Известия Российской академии наук. Серия географическая. 5: 139–146. <https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/99/95>
34. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М. 786 с.
35. Ванштейн Е.А. 1982. Некоторые вопросы физиологии лишайников. III. Минеральное питание. – Ботанический журнал. Т. 67. 5: 561–571. [http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19820505&rid=pdf\\_0005254](http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19820505&rid=pdf_0005254)
36. Хренов В.Я. 1993. Геохимическая экология растений северной тайги. – В сб.: Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Тюмень. С. 137–143.
37. Кузьменкова Н.В., Кошелева Н.Е., Асадулин Э.Э. 2015. Тяжелые металлы в почвах и лишайниках тундровой и лесотундровой зон (северо-запад Кольского полуострова). – Почвоведение. 2: 244–256. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100062>
38. Сухарева Т.А. 2016. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения. – Труды Карельского научного центра РАН. 4: 70–82. <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/ecology/article/view/259/234>
39. Valeeva E.I., Moskovchenko D.V. 2002. Trace-element composition of lichens as an indicator of atmospheric pollution in northern West Siberia. – Polar Geography. 26(4): 249–269. <https://doi.org/10.1080/789610148>
40. Усачева А.А., Семенов И.Н., Мирошников А.Ю., Крупская В.В., Закусин С.В. 2016. Геохимические особенности арктических ландшафтов восточного побережья Новой Земли. – Вестник МГУ. Серия география. 6: 87–95. <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/262>

## Trace Elements in Forage Plants of Reindeer Pastures of the Yamal Peninsula

D. V. Moskovchenko<sup>a, \*</sup> and E. A. Romanenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia

\*e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

**Abstract**—As a result of studies conducted in the central part of the Yamal Peninsula, the trace element composition of plants constituting reindeer diet was studied. The content of 20 elements was determined in lichens, leaves of shrubs, dominant grass species, subshrubs, graminoids and sedges. Based on determination of the ash content in species, the concentration of trace elements in ash and absolutely dry matter was calculated. Compared to the clark of vegetation, the ash of Yamal plants is characterized by elevated concentrations of Mn, Ti, Zn, Ni, Ba, Co, Ga, Ag and decreased — Mo, Sn. There was an active accumulation of manganese and zinc in the leaves of shrubs, and a sharp deficiency of molybdenum in all plant groups. To assess the balance in trace elements intake by animals, it is more appropriate to calculate the element concentration on dry matter basis. For most plant species, the concentration of physiologically essential elements (Cu, Zn, Co) is at ecological optimum level. Bushy and leafy lichens, which are the major component of reindeer winter and early spring diet, are characterized by an extremely low content of trace elements, which deficiency should be balanced by green feed in the warm season.

**Keywords:** Western Siberia, Yamal Peninsula, deer pastures, trace element composition, vegetation, bioaccumulation factor

## REFERENCES

1. Zuev S.M. 2015. [Reindeer husbandry in the Yamal-Nenets Autonomous Area: prospects and problems]. – Nauchnyj vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. 3(88): 103–107. (In Russian) <http://magazine.arctic89.ru/wp-content/uploads/2018/05/вестник-3-88.pdf>
2. Kaz'min V.D., Abaturonov B.D. 2011. Quantitative characteristics of nutrition in free-living reindeer (*Rangifer tarandus*) and the musk ox (*Ovibos moschatus*) on Vrangal Island. – Zoologicheskij zhurnal. 90(5): 616–623. (In Russian) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16455987>
3. Kryazhinskij F.V., Maklakov K.V., Morozova L.M., Ektova S.N. 2011. System analysis of biogeocenoses of the Yamal Peninsula: simulation of the impact of large-scale reindeer breeding on the vegetation. – Russ. J. Ecol. 42(5): 351–361. <https://doi.org/10.1134/S1067413611050092>
4. Bogdanov V.D., Golovatin M.G. 2017. Anthrax in Yamal: an ecological view of traditional reindeer husbandry. – Russ. J. Ecol. 48(2): 95–100. <https://doi.org/10.1134/S1067413617020059>
5. Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N. 2012. Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal Peninsula. – Czech Polar Reports. 2(2): 80–91. <https://doi.org/10.5817/CPR2012-2-8>
6. Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N., Paskhalny S.P. 2010. The change of tundra biota at the Yamal Peninsula (the North of the Western Siberia, Russia) in connection with anthropogenic and climatic shifts. – In.: Tundras: Vegetation, Wildlife and Climate trends. New York. P. 1–46. [http://www.novapublishers.org/catalog/product\\_info.php?products\\_id=13389](http://www.novapublishers.org/catalog/product_info.php?products_id=13389)
7. Sariev A.KH., Cherbakova N.N., Derbenev K.V., Fedina E.V. 2019. Chemical composition of forage plants growing in the zone of industrial enterprises' influence. – The Bulletin of KrasGAU. 5: 68–74. (In Russian) [http://www.kgau.ru/vestnik/2019\\_5/content/10.pdf](http://www.kgau.ru/vestnik/2019_5/content/10.pdf)
8. Novak G.V., Bodrova L.F. 2015. [Clinical and hematological indices of reindeers raised on different types of feeding under the conditions of Yamal]. – Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 6(56): 116–118. (In Russian) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25113556>
9. Moskovchenko D.V. 2013. [Ecogeochemistry of oil producing regions of Western Siberia]. Novosibirsk. 259 p. (In Russian)
10. Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G. 2019. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the North of Western Siberia. – Eurasian Soil Sc. 52(4): 380–395. <https://doi.org/10.1134/S106422931902011X>
11. Koval'skij V.V., Andrianova G.A. 1970. [Trace elements in the soils of the USSR]. Moscow. 182 p. (In Russian)
12. Agbalyan E.V., Listishenko A.A. 2017. Accumulation of pollutants (mercury and cadmium) in soil, plants and animals. – Nauchnyj vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. 3(96): 4–10. (In Russian) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34904650>
13. Podkorytov F.M. 1964. [Trace element composition of the main feed types of the Potapovsky experimental production farm of the Taimyr National District]. – In.: [Mikroelementy v sel'skom khozyajstve i meditsine Sibiri]. Krasnoyarsk. P. 47–49. (In Russian)
14. Tarkova M.D. 2007. [Migration of lead and cadmium in the trophic chain “soil-plant-reindeer” in the area of mining enterprises of Yakutia: on the example of the Oymyakonsky district: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci]. Yakutsk. 23 p. (In Russian)
15. Bashkin V.B. 2017. Biogeochemical cycles in tundra ecosystems of in areas impacted by gas industry facilities. – Geochim. Int. 55(10): 946–956. <https://doi.org/10.1134/S0016702917100020>
16. Ermilov O.M., Griva G.I., Moskvina V.I. 2002. [Impact of gas industry facilities on northern ecosystems and ecological stability of geotechnical complexes in cryolithozone]. Novosibirsk. 148 p. (In Russian)
17. Moskovchenko D.V. 1995. [Biogeochemical features of the landscapes of the Yamal Peninsula and their optimization in connection with oil and gas production: Abstr. ... Dis. Cand. (Geography) Sci]. Saint Petersburg. 24 p. (In Russian)
18. Tentyukov M.P. 2010. [Geochemistry of landscapes of plain tundra (on the example of Yamal and Bolshezemelskaya tundra)]. Syktyvkar. 260 p. (In Russian)
19. Golovnev A.V., Abramov I.V. 2014. Reindeer and gas: development strategies of Yamal. – Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii. 4(27): 122–131. (In Russian) [http://www.ipdn.ru/\\_private/a27/122-131.pdf](http://www.ipdn.ru/_private/a27/122-131.pdf)
20. Il'ina I.S., Lapshina Ye.I., Lavrenko N.N., Mel'tser L.I., Romanova, Ye.A., Bogoyavlenskij B.A., Makhno V.D. 1985. [Vegetation cover of the West Siberian plain.]. Novosibirsk. 251 p. (In Russian)
21. [Natural environment of Yamal]. 1995. Tyumen. Vol. 2. 108 p. (In Russian)
22. Syroechkovskij E.E. 1986. [Reindeer]. Moscow. 256 p. (In Russian)
23. Morozova L.M., Magomedova M.A. 2004. [Structure of vegetation cover and vegetation resources of the Yamal Peninsula]. Yekaterinburg. 63 p. (In Russian)
24. Vasiullina A.I., Moskovchenko D.V. 2020. Assessment of the impact of associated petroleum gas flaring on taiga landscapes based on an analysis of the vegetation index (NDVI). – Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom kom-

- plekse. 1(292): 14–21. (In Russian)  
[https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-1\(292\)-14-21](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-1(292)-14-21)
25. *Perel'man A.I.* 1975. [Landscape geochemistry]. Moscow. 341 p. (In Russian)
26. *Vinogradov A.P.* 1962. [Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust]. – *Geokhimiya*. 7: 555–571. (In Russian)
27. *Dobrovolskij V.V.* 2003. [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow. 400 p. (In Russian)
28. *Kabata-Pendias A.* 2011. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA. 505 p.  
<https://doi.org/10.1201/b10158>
29. *Moskovchenko D.V., Moiseeva I.N., Khozyainova N.V.* 2012. Microelement composition of plants from Urengoy tundra. – *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 12: 130–136. (In Russian)  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18050792>
30. *Glazovskaya M.A.* 1988. [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow. 328 p. (In Russian)
31. *Dobrovolskij V.V., Kozarenko A.E., Savel'eva L.E.* 1986. [Landscape and geochemical features of the tundra of the Barents Sea coast]. – In.: [Geochemical studies in forest and tundra landscapes]. Moscow. P. 3–13. (In Russian)
32. *Opekunov A.Yu., Opekunova M.G., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G.* 2012. [Assessment of the state of environment in the oil and gas development region of the Yamalo–Nenetsky Autonomous Region]. – *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. Ser. 7. Geologiya. Geografiya. 4: 87–101. (In Russian) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18353646>
33. *Ermokhina K.A., Myalo E.G.* 2013. Phytoindication mapping of landslide disturbances in the Central Yamal. – *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 5: 139–146. (In Russian)  
<https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/99/95>
34. *Perel'man A.I., Kasimov N.S.* 1999. [Landscape geochemistry]. Moscow. 786 p. (In Russian)
35. *Vanstein E.A.* 1982. Some problems in lichen physiology. III. Mineral nutrition. – *Botanicheskij zhurnal*. 67(5): 561–571. (In Russian) [http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19820505&rid=pdf\\_0005254](http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19820505&rid=pdf_0005254)
36. *Khrenov V.YA.* 1993. [Geochemical ecology of plants of the northern taiga]. – In.: [Problems of geography and ecology of West Siberia]. Tyumen. P. 137–143. (In Russian)
37. *Kuz'menkova N.V., Kosheleva N.E., Asadulin E.E.* 2015. [Heavy metals in soils and lichens of tundra and forest tundra zones (northwest of the Kola Peninsula)]. – *Pochvovedenie*. 2: 244–256. (In Russian).  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14100062>
38. *Sukhareva T.A.* 2016. Elemental composition of thalli of the lichen *Cladonia stellaris* under air pollution. – *Transactions of KarRC RAS*. 4: 70–82. (In Russian) <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/ecology/article/view/259/234>
39. *Valeeva E.I., Moskovchenko D.V.* 2002. Trace-element composition of lichens as an indicator of atmospheric pollution in northern West Siberia. – *Polar Geography*. 26(4): 249–269.  
<https://doi.org/10.1080/789610148>
40. *Usacheva A.A., Semenov I.N., Miroshnikov A.YU., Krupskaya V.V., Zakusin S.V.* 2016. Geochemical features of the Arctic tundra landscapes of the Novaya Zemlya eastern coast of. – *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 6: 87–95. (In Russian) <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/262>