

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ
НАДЫМСКОГО РАЙОНА ЯНАО

Moskovchenko D.V., Romanenko E.A.

BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF LANDSCAPES OF THE NADYM REGION OF YANAO

Аннотация. Цель исследования – выявить биогеохимические особенности почв (подзолы иллювиально-железистые, подзолы, криоземы, торфяные олиготрофные мерзлые почвы, иллювиальные серогумусовые и озерно-иллювиальные почвы) и растительности (*Betula nana* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Vaccinium uliginosum* L., *Ledum palustre* L., *Sphagnum* sp L.) Надымского района. Для достижения цели поставлены и реализованы задачи: определить валовое содержание и радиальную дифференциацию элементов в изучаемых почвах; выявить особенности биологического накопления элементов доминирующими видами растительного покрова. Элементный состав почв и растений определен на рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа S6 JAGUAR согласно методике определений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах. Установлено, что почвы Надымского района отличаются низким содержанием макроэлементов, в том числе необходимых для минерального питания растений калия, кальция, фосфора. Вычисление почвенно-геохимических коэффициентов показывает, что изучаемые почвы имеют среднюю степень выветривания и промывной режим увлажнения, к более плодородным почвам отнесены торфяно-глебовые и криоземы. В органогенных горизонтах почв происходит накопление Ca, P, S, минеральные горизонты накапливают Co, Cr, Ni. Радиальная геохимическая структура криоземов совмещает черты элювиально-иллювиальной дифференциации и биогенной аккумуляции. В подзолах распределение всех элементов элювиально-иллювиальное, с минимумом в подзолистом горизонте. Среди растений лидером по накоплению элементов является карликовая береза (максимальное накопление Ca, K, P, Mg, Zn, Ni), во мхах, напротив, обнаружена минимальная аккумуляция элементов. К элементам энергичного и сильного накопления ($K_b=n-100n$) относятся Pb, Mo, Cd, Cl, S.

Ключевые слова: Надымский район, почвы, растительность, валовое содержание, радиальная

Abstract. The purpose of the study is to reveal the biogeochemical features of soils (illuvial-ferruginous podzols, podzols, cryozems, oligotrophic peat frozen soils, alluvial gray-humus and lacustrine-alluvial soils) and vegetation (*Betula nana* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Vaccinium uliginosum* L., *Ledum palustre* L., *Sphagnum* sp L.) of the Nadym region. To achieve the goal, the following tasks were set and implemented: to determine the total content and radial differentiation of elements in the studied soils; to reveal the features of the biological accumulation of elements by the dominant types of vegetation cover. The elemental composition of soils and plants was determined on a serial X-ray fluorescence spectrometer S6 JAGUAR according to the method for determining the mass fraction of metals and metal oxides in powder samples. It has been established that the soils of the Nadym region are characterized by a low content of macroelements, including potassium, calcium, and phosphorus necessary for the mineral nutrition of plants. Calculation of soil-geochemical coefficients shows that the studied soils have an average degree of weathering and leaching moisture regime, peat-gley and cryozems are classified as more fertile soils. Ca, P, and S are accumulated in organic soil horizons, and Co, Cr, and Ni are accumulated in mineral horizons. The radial geochemical structure of cryozems combines features of eluvial-illuvial differentiation and biogenic accumulation. In podzols, the distribution of all elements is eluvial-illuvial, with a minimum in the podzolic horizon. Among plants, the leader in the accumulation of elements is dwarf birch (the maximum accumulation of Ca, K, P, Mg, Zn, Ni), in mosses, on the contrary, the minimum accumulation of elements was found. The elements of energetic and strong accumulation ($K_b=n-100n$) include Pb, Mo, Cd, Cl, S.

Keywords: Nadymsky district, soils, vegetation, total content, radial geochemical structure, soil-

геохимическая структура, почвенно-геохимические коэффициенты, коэффициент биологического накопления.

Сведения об авторах. Московченко Дмитрий Валерьевич, ORCID: 0000-0001-6338-7669, д-р геогр. наук, Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия, moskovchenko1965@gmail.com

Романенко Елизавета Ахмедовна, ORCID: 0000-0003-2964-1226, Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия, leta-92@list.ru

geochemical coefficients, biological accumulation factor.

Information about authors. Moskovchenko Dmitriy Valerievich, ORCID: 0000-0001-6338-7669, Dr. habil., Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia, moskovchenko1965@gmail.com

Romanenko Elizaveta Akhmedovna, ORCID: 0000-0003-2964-1226, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia, leta-92@list.ru

Московченко Д.В., Романенко Е.А. Биогеохимические особенности ландшафтов Надымского района ЯНАО // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2022. № 4(60). С. 122-136. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-4/12>

Moskovchenko, D.V., & Romanenko, E.A. (2022). Biogeochemical Features of Landscapes of the Nadym Region of Yanao. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (4(60)), 122-136. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-4/12>

Введение. Надымский район ЯНАО является одним из главных газодобывающих регионов России. Добыча углеводородного сырья оказывает негативное воздействие на природные комплексы региона и приводит к возникновению большого числа экологических проблем [1-3]. Постоянно увеличивается площадь почв, нарушенных антропогенными воздействиями [4]. Функционирование объектов нефте- и газодобычи приводит к выбросу многочисленных загрязнителей. Избыточное поступление химических элементов и их соединений может оказывать ингибирующее действие на биоту. Проблема антропогенного воздействия на малоустойчивые полярные и приполярные экосистемы многократно описана в научной литературе [5; 6]. Поэтому важна оценка современного экологического состояния этой территории. Определение валового содержания химических элементов в почвах и растениях – одна из основных задач геоэкологии, поскольку дает основу для проведения эколого-геохимического мониторинга.

В настоящее время на севере Западной Сибири под влиянием повышения температуры воздуха происходит увеличение мощности сезонноталого слоя, повышение температуры пород, смена видового состава растительности [7]. Современная климатогенная динамика может изменить биогеохимические процессы и вызвать изменения в химическом составе компонентов ландшафта. Определено, что увеличение сезонного протаивания изменяет состав почв за счет усиления миграции органического углерода и микроэлементов, в особенности щелочных и щелочноземельных металлов [8-10]. Известно, что даже минимальное поступление элементов в почвенный покров тундровых экосистем может привести к значительным изменениям в биогеохимическом круговороте [11-14]. При дальнейшем потеплении климата, способствующего таянию многолетнемерзлых пород, процессы аккумуляции и транслокации химических элементов в ландшафтах будут меняться. Все это углубляет интерес исследователей к изучению биогеохимии полярных и приполярных регионов [15; 16].

Актуальность проблемы современной природной и антропогенной динамики состава почв севера Западной Сибири и определила повышенный интерес исследователей к этой теме. Выявлены основные закономерности геохимии почв, определены валовые содержания основных тяжелых металлов и металлоидов [17-19]. Обозначено, что особый характер геохимических потоков вещества в ландшафтах Надымского района складывается из-за высокой литолого-геоморфологической неоднородности территории в сочетании с суровыми климатическими условиями [20]. Типологическое разнообразие почв Надымского района, обусловленное его значительной площадью и расположением в разных природных зонах, литологическая неоднородность почвообразующих пород, современная климатогенная динамика и разнообразие форм техногенного воздействия определяют необходимость дальнейшего исследования биогеохимических особенностей почв. Знание биогеохимических особенностей региона необходимо для разработки программ рекультивации нарушенных участков, расчете показателей геоэкологического риска и определения приемов управления этим риском [21]. Цель данного исследования – выявить биогеохимические особенности почв и доминантов растительного покрова Надымского района ЯНАО.

Материалы и методы исследования. Север Надымского района относится к подзоне субарктических тундр, центральная часть – к подзоне редколесий, южная – к подзоне северной тайги [22]. В подзоне субарктических тундр в плакорных местообитаниях распространены моховые и кустарниковые тундровые сообщества. В южной тундре они образуют сомкнутые заросли, сначала низкорослые и лежащие, так называемые низкокустарниковые тундры, а затем к югу переходящие в собственно кустарниковые тундры – ерниковые, ивняковые, ольховниковые [23; 24]. В подзоне предтундровых редколесий доминирующими типами сообществ являются елово-лиственничные лишайниковые и зеленомошно-кустарничковые редколесья, которые сочетаются с кустарниковыми тундрами и плоскобугристыми болотами. В напочвенном покрове преобладают гипоарктические кустарники и кустарнички (*Salix pulchra*, *Betula nana*, *Empetrum nigrum*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium unguiculatum*), которые сочетаются с арктоальпийскими видами (*Arctous alpina*). В северотаежной подзоне широко распространены редкостойные леса с доминированием сосны и лиственницы. Вследствие разреженности древесного яруса его эдификаторная роль невелика, поэтому напочвенный покров формируется главным образом под влиянием общих природных условий [25].

По почвенно-географическому районированию [26], северная часть территории относится к полярному поясу, южная часть – к бореальному. Почвообразующие породы представлены морскими, аллювиально-морскими отложениями, современным полюстрием [26; 27]. Обедненность почвенно-геохимического фона возникает в результате широкого распространения песчаных пород [28]. Преобладающими типами почв являются иллювиально-железистые подзолы, торфяно-подзолы, криоземы, глееземы, торфяно-глееземы, торфяные олиготрофные почвы.

Отбор проб почв и растительности выполнен на территории Надымского района в летний период 2020 года (рис. 1). В ходе исследования были отобраны пробы из почв, преобладающих в структуре почвенного покрова южных субарктических тундр и

предтундровых редколесий: иллювиально-железистые подзолы (Albic Podzols согласно WRB, набор генетических горизонтов O-E- BF-BC-C); криоземы (Folic Cryosols, O–CR–C); торфяные олиготрофные мерзлые почвы (Hemic Cryic Histosols, O–TO–TT₁).

Также изучены интразональные аллювиальные серогумусовые и озерно-аллювиальные почвы. Отбор проб выполнен из генетических горизонтов почв в пределах сезонноталого слоя.



Рис. 1. Район исследования

На участках опробования почв были отобраны доминирующие виды растений: кустарниковые породы – карликовая береза *Betula nana* L.; мирт болотный обыкновенный *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; кустарнички – голубика болотная *Vaccinium uliginosum* L., багульник болотный *Ledum palustre* L.; сфагновые мхи *Sphagnum* sp L. У кустарничков исследовался состав вегетирующих зеленых надземных частей, у кустарников – ветви с листьями.

В лабораторных условиях образцы проб просушивались до воздушно-сухого состояния, просеивались через сито для удаления корней растений и измельчались до пудры. Анализ проб выполнен в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Определение валового содержания элементов проведено на рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа S6 JAGUAR по методике определений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах. Благодаря тому, что метод РФА имеет низкую стоимость, прост в применении и определяет широкий круг микро- и макроэлементов, ряд авторов активно применяют его в определении элементного состава почв и растений [29–31].

Калибровки прибора производились с помощью комплекта Государственных стандартных образцов состава почв. При подсчетах учитывалась массовая доля элементов, входящих в область аккредитации метода РФА (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , P_2O_5 , S , TiO_2 , Cr , Co , Cu , Ni , Pb , Rb , Sr , V , Zn). Элементы, не входящие в область аккредитации, не учитывались. Для каждой пробы проводили два параллельных определения элементов. Результаты, полученные в двух повторениях, проверялись на предмет расхождений с допусками ($P=0,95$), рассчитанными для каждого измеряемого элемента отдельно. При удовлетворительном результате в качестве конечного результата измерения принималось среднее арифметическое.

В исследовании М.Г. Опекуновой и др. [17] выявлена необходимость определения регионального геохимического фона отдельно для органогенных горизонтов, минеральных (срединных) горизонтов почв и торфяников на основе статистического анализа и метода ранжированных геохимических спектров. Поэтому полученные данные мы разделили на три указанные группы, для каждой из которых подсчитаны статистические показатели – среднее арифметическое значение (M), медианное значение (Me) и среднеквадратичное отклонение (SD), коэффициент вариации (V). Для оценки биогеохимических особенностей обследованной территории подсчитывались кларки концентрации KK – отношение содержания элементов в почвенных горизонтах к кларку верхней части континентальной земной коры по [32], коэффициенты биологического накопления $Kб$ – отношение содержания элемента в золе растений к кларку и коэффициенты радиальной дифференциации R – отношение содержания элемента в генетических горизонтах почв к содержанию в породе. Обработка проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

Для оценки условий почвообразования и степени выветрелости минеральной основы почв были подсчитаны следующие коэффициенты:

Индекс химического изменения $CIA=100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$. Данный индекс характеризует процесс выщелачивания и показывает соотношение первичных и вторичных минералов [33]. Индекс используют как показатель климатических условий формирования почв [34].

Индекс потенциального почвенного плодородия FI [35] $FI=(CaO+MgO+10P_2O_5)/SiO_2$.

Отношение Ba/Sr , которое показывает гидротермические условия осадконакопления, в частности, процесс выщелачивания [36].

Для дифференциации поступления микроэлементов между антропогенными и природными источниками широко используется коэффициент обогащения (EF), который показывает обогащение исследуемых образцов конкретными элементами по отношению к природному фону:

$$EF=(C_i/C_n)/(K_i/K_n)$$

где C_i и C_n – среднее содержание i -го и эталонного элементов в органогенном горизонте, K_i и K_n – кларки i -го и эталонного элементов в верхней части континентальной земной коры [32].

Результаты и их обсуждение. Результаты определения элементного состава почв Надымского района представлены в таблице 1. В макрокомпонентном составе минеральных

горизонтов почв преобладают окислы кремния. Затем, в порядке убывания, расположены Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , Ca_2O . Доминирование песчаных почвообразующих пород приводит к абсолютному доминированию кремния в элементном составе, доля которого в среднем составляет 79%, а в отдельных пробах – более 90%. Доминирование кремнезема свидетельствует о том, что территория исследования подвергалась выветриванию горных пород и длительной криогенной трансформации [37]. В холодных и сухих условиях происходит рост относительного содержания кремния [38; 39]. Суммарное содержание преобладающих в составе SiO_2 и Al_2O_3 , составляет в среднем 84,1%, что в целом характерно для арктических почв, в которых сумма SiO_2 и Al_2O_3 составляет 80-90% от вещества мелкозема [37].

Таблица 1

Элементный состав почв Надымского района

Образцы	Минеральные горизонты		Поверхностные горизонты		Торф		Кларк [32]	Почвы севера Западной Сибири
	М	SD	М	SD	М	SD		
SiO_2 (%)	79	17	67	19	16	20	66.62	-
Al_2O_3 (%)	5,1	4,0	4,7	2,9	1,2	1,5	15,4	-
Fe_2O_3 (%)	1,51	1,14	1,63	0,79	1,40	1,45	5,04	1,0/-/0,81 ¹
MgO (%)	0,21	0,32	0,14	0,21	0,08	0,09	2,48	-
CaO (%)	0,30	0,29	0,55	0,20	0,70	0,43	3,59	-
K_2O (%)	1,16	0,50	1,24	0,62	0,40	0,39	2,8	-
Na_2O (%)	0,66	0,41	0,80	0,59	0,16	0,18	3,27	-
P_2O_5 (%)	0,07	0,08	0,27	0,28	0,40	0,55	0,15	-
S (%)	0,013	0,027	0,088	0,090	0,135	0,076	0,0621	-
Ti мг/ кг	3483	1402	3610	1238	1343	1704	3837	-
Mn мг/ кг	194	148	<ПО	48	219	169	775	160/-/248 ¹
Ba мг/ кг	381	150	492	104	327	233	624	460/257/77 ²
Co мг/ кг	23,5	5,3	23,5	4,8	16,2	10,9	17,3	8,4/5,8/2,44 ²
Cr мг/ кг	67,2	25,6	155	85,7	116	145,0	92	42/20,6/10,4 ²
Cu мг/ кг	7,7	4,4	19,7	11,2	25,5	11,2	28	8,7/8,68/7,25 ²
Ni мг/ кг	21,1	9,1	47,2	27,3	35,7	38,6	47	13/12/7,19 ²
Pb мг/ кг	19,9	18,3	27,4	34,3	78,2	35,4	17	9,9/13,4/5,48 ²
Rb мг/ кг	39,6	18,5	33,3	26,7	10,3	17,9	84	-
Sr мг/ кг	84,8	49,6	105,8	50,2	86,7	31,2	320	-
V мг/ кг	49,8	43,1	58,3	29,5	78,0	13,9	97	60/25/10,4 ²
Zn мг/ кг	17,0	26,2	37,0	57,2	95,2	86,4	67	31/35,6/19,9 ²

Примечание: ¹ – [40]; ² – [17]; указаны значения для минеральных / поверхностных органогенных / торфяных горизонтов; <ПО – содержание элемента было ниже предела обнаружения более чем в 50% проб

Содержание остальных макроэлементов меньше кларка верхней части континентальной земной коры в 2-11 раз. Обращает на себя внимание низкое содержание кальция, «главного металла живого вещества» [41], которое на порядок меньше кларка. В предыдущих исследованиях в Надымском районе также было зафиксировано низкое содержание CaO в подзолах, составляющее 0,21% [42]. Связано это с низким содержанием элемента в

бескарбонатных почвообразующих породах и активным элювированием в почвах, с чем связано выщелачиванием элемента [43]. Максимальное накопление кальция отмечается в горизонте А озерно-аллювиальной почвы.

Наблюдается отчетливо выраженный градиент уменьшения содержания валового фосфора с глубиной. Содержание валового фосфора максимально в торфяных горизонтах, где составляет 0,4%, в то время как в минеральных горизонтах – 0,07%. Низкие температуры и подавляют микробиологическую активность и минерализацию фосфора [44].

Величины индекса химического изменения CIA для минеральных горизонтов почв изменяются от 58 (озерно-аллювиальная почва) до 77 (мерзлая торфянисто-глеевая) (рис. 2). Как правило, значения CIA изменяются в диапазоне 65-75 единиц. Известно, что невыветрелые породы характеризуются значениями CIA около 50, в сильновыветрелых разновидностях CIA достигает 100 единиц [45]. Осадочные отложения гумидных территорий характеризуются интенсивным выносом кальция, натрия и калия из полевых шпатов, это, в свою очередь, приводит к аккумуляции соотношения алюминия и щелочей в продуктах выветривания [46], и росту значений CIA.

Обследованные почвы характеризуются средней степенью выветривания, наименее выветрелыми являются горизонты озерно-аллювиальных почв, что свидетельствует об их эволюционной молодости. В криогенных почвах степень выветрелости повышается. Вероятно, криогенез, который проявляется в регулярных фазовых переходах воды в надмерзлотных почвенных горизонтах, усиливает процессы выветривания.

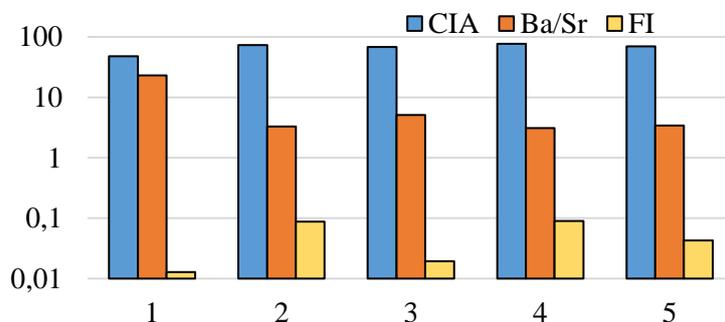


Рис. 2. Почвенно-геохимические коэффициенты:

1 – озерно-аллювиальная почва; 2 – криозем; 3 – подзол иллювиально-железистый;
4 – торфянисто-глеевая мерзлая почва; 5 – аллювиальная серогумусовая почва

Отношение Ba/Sr, которое индицирует режим увлажнения, повышено в озерно-аллювиальных почвах и подзолах что свидетельствует о переувлажнении и промывном режиме. Минимально отношение Ba/Sr в криоземах. Индекс потенциального почвенного плодородия, определяемый преимущественно количеством фосфора, максимален в криоземах и торфянисто-глеевых почвах, наименее плодородными являются песчаные подзолы и озерно-аллювиальные почвы.

По отношению к кларку верхней части континентальной земной коры, в минеральных горизонтах исследованных почв слабо накапливается Co (кларк концентрации КК=1,4), околосларковые концентрации характерны для Pb и Ti. Повышенное содержание Co в почвообразующих породах Пур-Тазовского междуречья было ранее отмечено Сорокиной с

соавторами [27]. Остальные элементы деконцентрируются, кларки рассеяния изменяются от 1,4 (Cr) до 4,0 (Mn). Низкое содержание элементов неоднократно описано в предшествующих исследованиях [2, 47]. Отмечалось, что в почвах севера Западной Сибири концентрации большинства тяжелых металлов в 3-9 раз меньше среднемировых значений [17]. Причины низкого содержания металлов состоят в преобладании песчаных почвообразующих пород и активом выщелачивании элементов. Таргульян В.О. [48] связывает интенсивный вынос элементов с климатическими особенностями территории, поскольку холодно-влажные области характеризуются избыточным переувлажнением.

Исследования Сорокиной с соавторами [47] выявили, что территория севера Западной Сибири относится к области рассеяния. КК в различных ландшафтных провинциях севера по данным Сорокиной составляет 0,34-0,74. Согласно полученным нами данным, для минеральных горизонтов почв среднее значение $КК=0,7$, что подтверждает преобладание рассеяния на исследуемой территории.

По сравнению со среднерегionalными значениями [17; 40], в минеральных горизонтах обследованных почв повышено содержание Co, Cr, Ni. Ранее отмечалось, что аллювиально-морские отложения третьей и четвертой террас имеют повышенное содержание V, Cr, Co, Ni [17]. Вероятно, повышенное содержание этих элементов связано с литогенным фактором. Близки к среднерегionalным значениям концентрации Mn, V, Cu, снижено содержание Zn.

В органогенных горизонтах литогенных почв и торфяниках происходит накопление Ca, P, S, Cu, Pb. Содержание этих элементов увеличивается по мере роста количества органического вещества и достигает максимума в торфе. Содержание валового фосфора в торфе возрастает по сравнению с минеральными горизонтами почв в 5,7 раза, серы – в 10 раз, содержание Zn, Pb и Cu возрастает соответственно в 5,6, 3,4 и 3,9 раза. Согласно А.И. Перельману [41], сера относится к элементам энергичного интенсивного биологического накопления ($Кб>100$), фосфор и цинк – интенсивного и среднего накопления, ($Кб=10-100$), что соответствует максимальному росту их концентрации в торфяных горизонтах.

Для уточнения особенностей элювиально-иллювиальной дифференциации в почвах были подсчитаны коэффициенты радиальной дифференциации (рис. 3).

Радиальная почвенно-геохимическая структура криоземов совмещает черты элювиально-иллювиальной дифференциации и биогенной аккумуляции. Содержание халькофильных Pb и Cu имеет ярко выраженный поверхностно аккумулятивный характер, в то время как Fe, Ni, Cr имеют слабоконтрастное элювиально-иллювиальное распределение. В подзолах распределение всех элементов элювиально-иллювиальное, с минимумом в горизонте E. Для озерно-аллювиальной почвы основным процессом является осаждение илестых частиц на поверхности при весеннем повышении уровня воды в озере, что приводит к росту содержания в поверхностном горизонте Ni, Cr, Cu, Sr. Распределение Ni очень контрастное ($0,2 < R < 23$).

Таким образом, биогеохимические особенности почв в значительной степени определяются аккумуляцией халькофильных металлов в органогенных горизонтах. Для тундровых и лесотундровых ландшафтов свойственна аккумуляция халькофильных

элементов в растениях различных таксономических групп. Данный вывод подтверждается исследованием [49], который выявил активное накопление халькофильных элементов в багульнике и пушице Уренгойских тундр и, напротив, малые концентрации сидерофильных элементов: Fe в 3,2 раза ниже среднемировых значений, Co – в 1,8 раз. Поэтому накопление на биогеохимическом барьере является важнейшим фактором, формирующим геохимическую структуру почвенного покрова.

Результаты определения элементного состава доминирующих растений представлены в таблице 2.

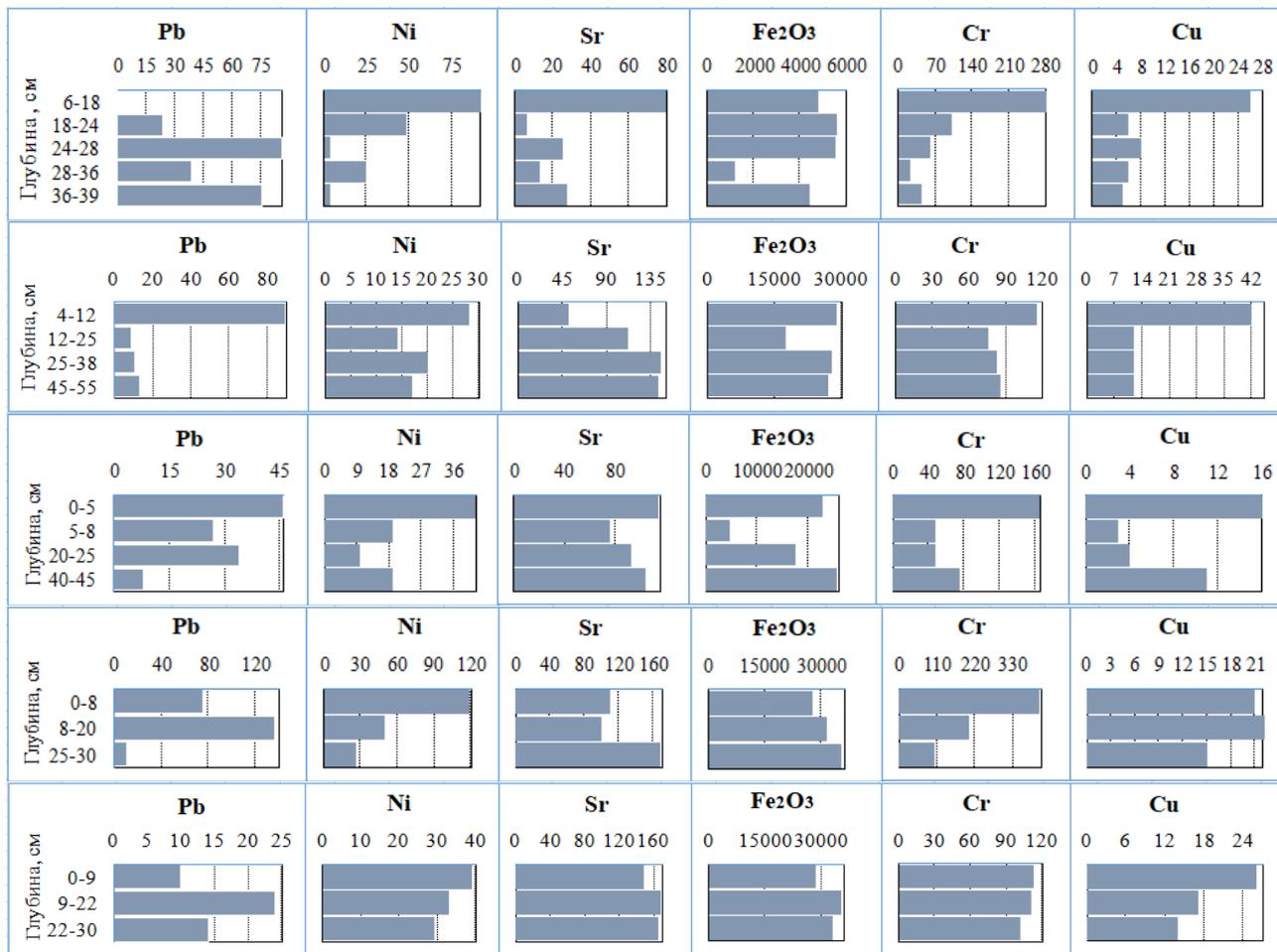


Рис. 3. Распределение элементов в профилях почв

1 – озерно-аллювиальная почва; 2 – криозем; 3 – подзол иллювиально-железистый; 4 – торфянисто-глеевая мерзлая почва; 5 – аллювиальная серогумусовая почва

Таблица 2

Содержание химических элементов в растениях Надымского района ЯНАО, мг/кг абс. сухого вещества

Элементы	Растения							
	<i>Vaccinium uliginosum</i> L. n=5		<i>Sphagnum</i> sp. L. n=5		<i>Ledum palustre</i> L. n=5		<i>Betula nana</i> L. n=7	
	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%
Ca	3100±601	18,1	1200±311	26,39	3800±867	24,4	4200±349	8,2
K	2500±439	16,6	1900±665	37,82	2900±583	20,8	3000±614	19,9

Элементы	Растения							
	<i>Vaccinium uliginosum</i> L. n=5		<i>Sphagnum</i> sp. L. n=5		<i>Ledum palustre</i> L. n=5		<i>Betula nana</i> L. n=7	
	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%	Me±SD	V,%
P	1200±370	31,4	400±181	39,49	800±376	42,8	1300±495	36,1
Si	1600±320	22,3	1700±3425	110,50	1400±724	45,3	1600±587	32,9
Mg	1300±167	13,3	600±270	42,22	900±212	23,6	1500±270	18,1
Na	400±531	120,9	200±286	130,16	300±216	51,6	400±325	73,6
S	1200±300	23,1	500±89,4	15,97	700±167	22,6	800±111	13,4
Zn	46,7±9,97	21,7	15,9±4,44	29,75	29,9±71,7	121,9	181±59,2	36,8
Cu	26,2±6,07	22,9	14,1±4,87	32,40	23,1±4,60	19,6	24,2±2,1	8,9
Ni	14,3±2,02	14,2	10,9±6,49	49,12	13±2,33	16,6	15,3±2,5	15,9
Co	8,6±6,84	58,7	8,7±3,86	38,09	8,9±2,74	27,1	8,3±0,6	7,0
Fe	55,4±7,62	12,9	225±270	90,88	113±119	87,0	149±80	48,8
Mn	340±194	48,9	303±186	66,95	785±208	27,1	690±485	61,3
Cr	20,8±3,36	16,4	18,3±18,7	68,16	24,9±6,48	27,4	26,6±5,5	21,2
Ti	7,1±0,589	8,6	5,9±18,9	132,27	7,3±6,21	62,1	7,4±0,387	5,2
Al	968±539	46,0	1055±421	33,83	1029±155	14,2	1122±141	12,4
Pb	24,1±4,32	18,4	22,9±13,2	47,54	40,8±32,6	70,1	32,2±42,3	71,8
Cd	43,1±13,7	34,6	30±22,4	58,55	45,2±22,8	48,3	46,6±25,7	45,7

Наиболее активным накоплением большинства элементов отличается карликовая березка (*Betula nana* L.), в которой отмечено максимальное содержание Ca, K, P, Mg, Zn, Ni. Интенсивное накопление элементов кустарниками (карликовой березкой и ивой) было ранее отмечено для тундр Ямала [49; 50]. Рассчитанный коэффициент биологического накопления Кб (рис. 4) показал, что к элементам энергичного и сильного накопления ($K_b = n - 100n$) относятся свинец, молибден, кадмий, хлор, сера, что в целом соответствует рядам биологического поглощения по А.И. Перельману. У карликовой березы помимо вышеперечисленных элементов к элементам накопления относятся фосфор и цинк. Остальные элементы являются элементами захвата. По содержанию элементов слабого и очень слабого захвата, к которым относятся Co, Cr, Ti, Al [41], исследуемые растения различаются незначительно. Сфагновые мхи отличаются слабым накоплением катионогенных щелочных и щелочноземельные элементы, мигрирующие в основном в виде простых катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}).

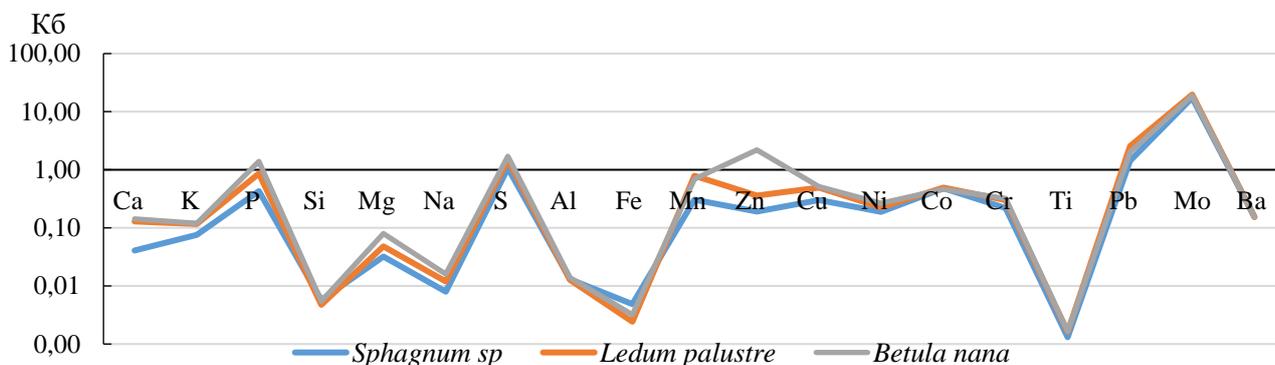


Рис. 4. Значения коэффициентов биологического накопления

Выводы. Почвы Надым-Пуровского междуречья сформировались в результате длительной криогенной трансформации и выветривания, приведшей к абсолютному преобладанию до кремнезема в составе минеральных горизонтов. Отмечен дефицит большинства элементов по сравнению с кларком земной коры, кроме Co, Pb и Ti. Остальные элементы деконцентрируются, кларки рассеяния изменяются от 1,4 (Cr) до 4,0 (Mn). Процессы биологического накопления приводят к аккумулярованию в поверхностных органогенных горизонтах литогенных почв и торфяниках халькофильных элементов (S, Cu, Pb, Zn), а также кальция и фосфора. Наиболее активно накапливает элементы карликовая березка, в которой отмечено максимальное содержание Ca, K, P, Mg, Zn, Ni.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеенко Т.И., Гашев С.Н. Биогеохимическая индикация загрязнения металлами и радионуклидами в регионах нефтедобычи // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447. № 5. С. 557-560. <https://doi.org/10.1134/S1028334X12120112>
2. Московченко Д.В. Экогеохимия нефтедобывающих районов Западной Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2013. 259 с.
3. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И. Ю. Оценка трансформации природной среды в районах разработки углеводородного сырья на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2018. Т. 25. №1. С. 122–138. <https://doi.org/10.15372/SEJ20180111>
4. Абакумов Е.В., Кимеклис А.К., Гладков Г.В., Андронов Е.Е., Евдокимова Е.В., Иванова Е.А. Микробиомы природных и антропогенно-трансформированных почв Надымского района ЯНАО // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Материалы VII Международной научной конференции. Томск: ТГУ, 2020. С. 190-193.
5. Башкин В.Н., Арно А.Б., Арабский А.К., Барсуков П.А., Припутина И.В., Галиулин Р.В. Ретроспектива и прогноз геоэкологической ситуации на газоконденсатных месторождениях Крайнего Севера. М.: Газпром-ВНИИГАЗ, 2012. 280 с.
6. Васильевская В.Д. Оценка устойчивости тундровых мерзлотных почв к антропогенным воздействиям // Вестник Московского университета. 1996. Т. 17. С. 27-35.
7. Москаленко Н.Г. Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. №4. С. 18-23.
8. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Audry S., Viers J., Dupre B. Effect of permafrost thawing on organic carbon and trace element colloidal speciation in the thermokarst lakes of western Siberia // Biogeosciences. 2011. №8(3). P. 565-583. <https://doi.org/10.5194/bg-8-565-2011>
9. Ji X., Abakumov E., Tomashunas V., Polyakov V., Kouzov S. Geochemical pollution of trace metals in permafrost-affected soil in the Russian Arctic marginal environment // Environmental Geochemistry and Health. 2020. Vol. 42. №12. P. 4407-4429. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00587-2>
10. Krickov I.V., Lim A.G., Manasypov R.M., Loiko S.V., Vorobyev S.N., Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S. Major and trace elements in suspended matter of western Siberian rivers: First assessment across permafrost zones and landscape parameters of watersheds // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2020. Vol. 269. P. 429-450. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.11.005>
11. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. М.: ГЕОС, 2005. 456 с.
12. Bashkin V.N., Howarth R.W. Modern biogeochemistry. Springer Science & Business Media, 2002.
13. Mack M.C., Schuur E.A.G., Bret-Harte M.S., Shaver G.R., Chapin III F.S. Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization // Nature. 2004. Vol. 431. P. 440-443. <https://doi.org/10.1038/nature02887>
14. Nemergut D.R., Townsend A.R., Sattin S.R., Freeman K.R., Fierer N., Neff J.C., Schmidt S.K. The effects of chronic nitrogen fertilization on alpine tundra soil microbial communities: implications for carbon and nitrogen cycling // Environmental microbiology. 2008. Vol. 10. P. 3093-3105. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01735.x>
15. Halbach K., Mikkelsen Ø., Berg T., Steinnes E. The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic // Chemosphere. 2017. Vol. 188. P. 567-574. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.012>

16. Antcibor I., Eschenbach A., Zubrzycki S., Kutzbach L., Bolshiyarov D., Pfeiffer E. M. Trace metal distribution in pristine permafrost-affected soils of the Lena River delta and its hinterland, northern Siberia, Russia // *Biogeosciences*. 2014. Vol. 11. №1. P. 1-15. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1-2014>
17. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // *Почвоведение*. 2019. № 4. С. 422-439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>
18. Агбалян Е.В., Печкин А.С., Колесников Р.А., Моргун Е.Н., Красненко А.С., Ильясов Р.М., Локтев Р.И., Шинкарук Е.В. Фоновые физико-химические и химические характеристики почв Приуралья и Надым-Пур-Тазовского региона // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2019. № 2 (103). С. 14-26.
19. Moskovchenko D., Shamilishvilly G., Abakumov E. Soil Biogeochemical Features of Nadym-Purovskiy Province (Western Siberia) // *Ecologia Balkanica*. 2019. Vol. 11. №2. P. 113-126.
20. Шамилишвили Г.А., Абакумов Е.В., Печкин А.С. Особенности почвенного покрова Надымского района, ЯНАО // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2016. № 4 (93). С. 12-16.
21. Башкин В.Н. Биогеохимические циклы в тундровых экосистемах импактных зон газовой индустрии // *Геохимия*. 2017. № 10. С. 954-966. <https://doi.org/10.7868/S0016752517100028>
22. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. С. 252.
23. Мельцер Л.И. Вопросы классификации и картографирования растительности Западно-Сибирских тундр // *Региональные биогеографические исследования в Сибири*. Иркутск. 1977. С. 40-59.
24. Мельцер Л.И. Отображение гетерогенной структуры растительности Западно-Сибирских тундр при среднемасштабном картографировании // *Геоботаническое картографирование*. Л.: Наука, 1980. 18 с.
25. Валеева Э.И., Московченко Д.В. Зональные особенности растительного покрова Тазовского полуострова и его техногенная трансформация // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2009. № 9. С. 174.
26. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск, 2004. 304 с.
27. Сорокина Н.В. Антропогенные изменения северо-таежных экосистем Западной Сибири (на примере Надымского района): дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2003. 213 с.
28. Тигеев А.А. Особенности почвенного покрова бассейна реки Хыльмигьяха (Надым-Пуровское междуречье) // *Вестник ТюмГУ*. 2014. №4. С. 39-48.
29. Калинин П.И., Кудреватых И.Ю., Вагапов И.М., Борисов А.В., Алексеев А.О. Биогеохимические процессы в степных ландшафтах Ергенинской возвышенности в голоцене // *Почвоведение*. 2018. № 5. С. 526-537. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050027>
30. Ávila-Pérez P., Longoria-Gándara L.C., García-Rosales G. Monitoring of elements in mosses by instrumental neutron activation analysis and total X-ray fluorescence spectrometry // *J Radioanal Nucl Chem*. 2018. Vol 317(1). P. 367-380. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5896-z>
31. Rogan G., Tighe M., Grave P. Optimization of portable X-ray fluorescence spectrometry for the assessment of soil total copper concentrations: application at an ancient smelting site // *J. Soils Sediments*. 2019. Vol. 19 (2). P.830-839. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2091-3>
32. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry*. Elsevier. 2014. P. 1-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
33. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 715-717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
34. Склярёв Е.В. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
35. Taylor G., Pain C.F., Ryan P.J. Geology, geomorphology and regolith // *Guidelines for surveying soil and land resources*. 2008. №Ed. 2. P. 47-60.
36. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений Уренгойских тундр // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2012. № 12. С. 130-136.
37. Добровольский В.В. Основные черты геохимии арктического почвообразования // *Почвоведение*. 1994. №6. С. 85-93.
38. Vital H. and Stattegger K. Sediment Dynamics in the Lowermost Amazon // *Journal of Coastal Research*. 2000. V. 16. PP. 316-328.

39. Liu B., Jin H., Sun L., Sun Zh., Zhao S. Geochemical evidence for Holocene millennial-scale climatic and environmental changes in the south-eastern Mu Us Desert, northern China // *International Journal of Earth Sciences*. 2015. Vol. 104. №7. P. 1889-1900.
40. Экологический мониторинг Ямало-Ненецкого автономного округа. Справочник по применению средних региональных значений содержания контролируемых компонентов на мониторинговых полигонах при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Братск, 2014. 19 с.
41. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
42. Сизов О.С., Лоботросова С.А., Соромотин А.В. Оценка физико-химических свойств верхних органо-минеральных горизонтов песчаных обнажений на севере Западной Сибири (на примере среднего течения р. Надым) // *Географическая среда и живые системы*. 2020. № 1. С. 31-52. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2020-1-31-52>
43. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. Иркутск, 1985. 209 с.
44. Bowman W.D., Bahn L., Damm M. Alpine landscape variation in foliar nitrogen and phosphorus concentrations and the relation to soil nitrogen and phosphorus availability // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2003. Vol. 35. №2. P. 144-149. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035)
45. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
46. Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т. Осадочные последовательности рифея типовой местности. Уфа: Принт, 1998. 225 с.
47. Сорокина Е.П., Дмитриева Н.К., Карпов Л.К., Масленников В.В. Анализ регионального геохимического фона как основа эколога-геохимического картирования равнинных территорий: на примере северной части Западно-Сибирского региона // *Прикладная геохимия. Вып. 2. Экологическая геохимия*. М.: Изд-во ИМГРЭ. 2001. С. 316-338.
48. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.
49. Retallack G. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time // *Treatise On Geochemistry*. 2003. Vol. 5. PP. 581–605. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05087-8>
50. Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, 2010. 260 с.

REFERENCES

1. Moiseenko, T.I., & Gashev, S.N. (2012). Biogeochemical indication of pollution with metals and radionuclides in oil-producing regions. *Dokl. Earth Sc.*, 447. 1338–1341. (in Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1028334X12120112>
2. Moskovchenko, D.V. (2013). Ekogeohimiya neftedobyvayushchih rajonov Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk. (in Russ.).
3. Opekunova, M.G., Opekunov, A.Yu., Kukushkin, S.Yu., & Arestova, I. Yu. (2018). The Assessment of the Environment Transformation in the Areas of Hydrocarbon Deposits in the North of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 25(1). 122–138. (in Russ.). <https://doi.org/10.15372/SEJ20180111>
4. Abakumov, E.V., Kimeklis, A.K., Gladkov, G.V., Andronov, E.E., Evdokimova, E.V., & Ivanova, E.A. (2020). Mikrobiomy prirodnyh i antropogenno-transformirovannyh pochv Nadym'skogo rajona YANAO. In *Otrazhenie bio-, geo-, antroposfernykh vzaimodeistvii v pochvakh i pochvennom pokrove: Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Tomsk, 190-193. (in Russ.).
5. Bashkin, V.N., Arno, A.B., Arab'skij, A.K., Barsukov, P.A., Pripulina, I.V., & Galiulin, R.V. (2012). Retrospektiva i prognoz geoekologicheskoy situatsii na gazokondensatnyh mestorozhdeniyah Krajnego Severa. Moscow. (in Russ.).
6. Vasil'evskaya, V.D. (1996). Otsenka ustojchivosti tundrovyyh merzlotnyh pochv k antropogennym vozdeystviyam. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 17, 27-35. (in Russ.).
7. Moskalenko, N.G. (2009). Izmenenie temperatury porod i rastitel'nosti pod vliyaniem menyayushchegosya klimata i tekhnogeneza v Nadym'skom rajone Zapadnoj Sibiri. *Kriosfera Zemli*, 13 (4). 18-23. (in Russ.).
8. Pokrovsky, O. S., Shirokova, L. S., Kirpotin, S. N., Audry, S., Viers, J., & Dupré, B. (2011). Effect of permafrost thawing on organic carbon and trace element colloidal speciation in the thermokarst lakes of western Siberia. *Biogeosciences*, 8(3), 565-583. <https://doi.org/10.5194/bg-8-565-2011>

9. Ji, X., Abakumov, E., Tomashunas, V., Polyakov, V., & Kouzov, S. (2020). Geochemical pollution of trace metals in permafrost-affected soil in the Russian Arctic marginal environment. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(12), 4407-4429. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00587-2>
10. Krickov, I. V., Lim, A. G., Manasypov, R. M., Loiko, S. V., Vorobyev, S. N., Shevchenko, V. P., ... & Pokrovsky, O. S. (2020). Major and trace elements in suspended matter of western Siberian rivers: First assessment across permafrost zones and landscape parameters of watersheds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 269, 429-450. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.11.005>
11. Bargal'i R. (2005). Biogeohimiya nazemnyh rastenij. Moscow. (in Russ.).
12. Bashkin, V. N., & Howarth, R. W. (2002). *Modern biogeochemistry*. Springer Science & Business Media.
13. Mack, M. C., Schuur, E. A., Bret-Harte, M. S., Shaver, G. R., & Chapin, F. S. (2004). Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature*, 431(7007), 440-443. <https://doi.org/10.1038/nature02887>
14. Nemergut, D. R., Townsend, A. R., Sattin, S. R., Freeman, K. R., Fierer, N., Neff, J. C., ... & Schmidt, S. K. (2008). The effects of chronic nitrogen fertilization on alpine tundra soil microbial communities: implications for carbon and nitrogen cycling. *Environmental microbiology*, 10(11), 3093-3105. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01735.x>
15. Halbach K., Mikkelsen Ø., Berg T., Steinnes E. (2017). The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic. *Chemosphere*. 188, 567-574. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.012>
16. Antcibor, I., Eschenbach, A., Zubrzycki, S., Kutzbach, L., Bolshiyarov, D., & Pfeiffer, E. M. (2014). Trace metal distribution in pristine permafrost-affected soils of the Lena River delta and its hinterland, northern Siberia, Russia. *Biogeosciences*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1-2014>
17. Opekunova, M.G., Opekunov, A.Yu., Kukushkin, C.Yu., & Ganul, A.G. (2019). Fonovoe sodержanie himicheskikh elementov v pochvah i donnyh osadkah severa Zapadnoj Sibiri. *Pochvovedenie*, 4, 422-439. (in Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>
18. Agbalyan, E.V., Pechkin, A.S., Kolesnikov, R.A., Morgun, E.N., Krasnenko, A.S., Il'yasov, R.M., Loktev, R.I., & Shinkaruk, E.V. (2019). Fonovye fiziko-himicheskie i himicheskie harakteristiki pochv Priural'ya i Nadym-Pur-Tazovskogo regiona. *Nauchnyj vestnik YAmalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, (2 (103)). 14-26. (in Russ.).
19. Moskovchenko, D., Shamilishvili, G., & Abakumov, E. (2019). Soil Biogeochemical Features of Nadym-Purovskiy Province (Western Siberia). *Ecologia Balkanica*, 11(2), 113-126.
20. Shamilishvili, G.A., Abakumov, E.V., & Pechkin, A.S. (2016). Osobennosti pochvennogo pokrova Nadym'skogo rajona, YANAO. *Nauchnyj vestnik YAmalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, (4 (93)). 12-16. (in Russ.).
21. Bashkin, V.N. (2017). Biogeohimicheskie tsikly v tundrovyyh ekosistemah impaktnyyh zon gazovoy industrii. *Geohimiya*, 10. 954-966. (in Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0016752517100028>
22. Il'ina, I.S. (1985). Rastitel'nyj pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny. Novosibirsk. (in Russ.).
23. Mel'tser, L. I. (1977). Voprosy klassifikatsii i kartografirovaniya rastitel'nosti zapadno-sibirskikh tundr. *V kn.: Regional'nye biogeograficheskie issledovaniya v Sibiri*. Irkutsk. (in Russ.).
24. Mel'tser, L. I. (1980). Otobrazhenie geterogennoj struktury rastitel'nosti zapadno-sibirskikh tundr pri srednemashtabnom kartografirovanii. In *Geobotanicheskoe kartografirovanie*. Leningrad. (in Russ.).
25. Valeeva, E.I., & Moskovchenko, D.V. (2009). Zonal'nye osobennosti rastitel'nogo pokrova Tazovskogo poluostrova i ego tekhnogennaya transformatsiya. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 9, 174. (in Russ.).
26. Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. (2004). Omsk. (in Russ.).
27. Sorokina, N.V. (2003). Antropogennye izmeneniya severo-taevnykh ekosistem Zapadnoj Sibiri (na primere Nadym'skogo rajona): dis. ... kandidata biologicheskikh nauk. Tyumen'. (in Russ.).
28. Tigeev, A.A. (2014). Osobennosti pochvennogo pokrova bassejna reki Hyl'mig'yaha (Nadym-Purovskoe mezhdurech'e). *Vestnik TyumGU*, 4. 39-48. (in Russ.).
29. Kalinin, P.I., Kudrevatyh, I.Yu., Vagapov, I.M., Borisov, A.V., & Alekseev, A.O. (2018). Biogeohimicheskie protsessy v stepnykh landshaftah Ergeninskoy vozvysheynosti v golotsene. *Pochvovedenie*, 5. 526-537. (in Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050027>
30. Ávila-Pérez, P., Longoria-Gándara, L.C., & García-Rosales, G. (2018). Monitoring of elements in mosses by instrumental neutron activation analysis and total X-ray fluorescence spectrometry. *J Radioanal Nucl Chem*, 317(1), 367-380. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5896-z>

31. Rogan, G., Tighe, M., & Grave, P. (2019). Optimization of portable X-ray fluorescence spectrometry for the assessment of soil total copper concentrations: application at an ancient smelting site. *J. Soils Sediments*, 19 (2), 830-839. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2091-3>
32. Rudnick R.L., Gao S. (2014). Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry. Elsevier*, 1-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
33. Nesbitt, H., & Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299(5885), 715-717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
34. Sklyarov, E.V. (2001). Interpretatsiya geohimicheskikh dannyh: ucheb. posobie. Moscow. (in Russ.).
35. Taylor, G., Pain, C.F., & Ryan, P.J. (2008). Geology, geomorphology and regolith. *Guidelines for surveying soil and land resources*, 47-60.
36. Moskovchenko, D.V., Moiseeva, I.N., & Hozyainova, N.V. (2012). Elementnyj sostav rastenij Urengojsskikh tundr. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 12, 130-136. (in Russ.).
37. Dobrovol'skij, V.V. (1994). Osnovnye cherty geohimii arkticheskogo pochvoobrazovaniya. *Pochvovedenie*, 6, 85-93. (in Russ.).
38. Vital, H. & Statteger, K. (2000). Sediment Dynamics in the Lowermost Amazon. *Journal of Coastal Research*, 16, 316- 328.
39. Liu, B., Jin, H., Sun, L., Sun, Z., & Zhao, S. (2015). Geochemical evidence for Holocene millennial-scale climatic and environmental changes in the south-eastern Mu Us Desert, northern China. *International Journal of Earth Sciences*, 104(7), 1889-1900.
40. Ekologicheskii monitoring Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. Spravochnik po primeneniyu srednikh regional'nykh znachenii sodержaniya kontroliruemyykh komponentov na monitoringovykh poligonakh pri otsenke sostoyaniya i urovnya zagryazneniya okruzhayushchei sredy na territorii Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga (2014). Bratsk. (in Russ.).
41. Perel'man, A.I. (1979). Geohimiya. Moscow. (in Russ.).
42. Sizov, O.S., Lobotrosova, S.A., & Soromotin, A.V. (2020). Otsenka fiziko-himicheskikh svoystv verhnih organo-mineral'nyh gorizontov peschanyh obnazhenij na severe Zapadnoj Sibiri (na primere srednego techeniya r. Nadym). *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy*, 1, 31-52. (in Russ.). <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2020-1-31-52>
43. Nechaeva, E.G. (1985). Landshaftno-geohimicheskij analiz dinamiki taezhnyh geosistem. Irkutsk. (in Russ.).
44. Bowman, W.D., & Bahn, L, Damm M. (2003). Alpine landscape variation in foliar nitrogen and phosphorus concentrations and the relation to soil nitrogen and phosphorus availability. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.*, 35(2), 144–149. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035)
45. Syso, A.I. (2007). Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk. (in Russ.).
46. Maslov, A.V., Gareev, E.Z., & Krupenin, M.T. (1998). Osadochnye posledovatel'nosti rifeya tipovoj mestnosti. Ufa. (in Russ.).
47. Sorokina, E.P., Dmitrieva, N.K., Karpov, L.K., & Maslennikov, V.V. (2001). Analiz regional'nogo geohimicheskogo fona kak osnova ekologo-geohimicheskogo kartirovaniya ravninnyh territorij: na primere severnoj chasti Zapadno-Sibirskogo regiona. *Prikladnaya geohimiya. Ekologicheskaya geohimiya*, 2, 316-338. (in Russ.).
48. Targul'yan, V.O. (1971). Pochvoobrazovanie i vyvetrивание v holodnyh gumidnyh oblastyah. Moscow. (in Russ.).
49. Retallack, G. (2003). Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time. *Treatise On Geochemistry*, 5, 581–605. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05087-8>
50. Tentyukov, M.P. (2010). Geohimiya landshaftov ravninnyh tundr (na primere YAmala i Bol'shezemel'skoj tundry). Syktyvkar. (in Russ.).

Дата поступления: 25.05.2022

Дата принятия: 03.09.2022

© Московченко Д.В., Романенко Е.А., 2022