

Раздел 4

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 631.4

МАРГАНЕЦ, ЖЕЛЕЗО, НИКЕЛЬ, МЕДЬ, ЦИНК И СВИНЕЦ В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯМАЛ)

Д.Н. Балыкин, Н.М. Ковалевская, А.В. Пузанов, Т. А. Рождественская

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: balykindn@yandex.ru, nelleyk@mail.ru, puzanov@iwep.ru, rtamara@iwep.ru

В статье представлены результаты исследований валового содержания марганца, железа, никеля, меди, цинка и свинца в тундровых почвах территории Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. Установлено, что органогенные горизонты почв отличаются от минеральных высоким валовым содержанием всех элементов, особенно железа и марганца. По среднему валовому содержанию элементы образуют следующий ряд: в органогенных горизонтах – $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb$, в минеральных – $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb$. На содержание и распределение элементов в почвах существенное влияние оказывает органическое вещество и гранулометрический состав, смена окислительно-восстановительной обстановки.

Ключевые слова: марганец; железо; никель; цинк; свинец; тундровые почвы; Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение; полуостров Ямал.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17006

Дата поступления: 14.07.2023. Принята к печати: 15.08.2023

В криолитозоне России сосредоточено свыше 30% разведанных и более 90% потенциальных запасов углеводородного сырья, значительная часть месторождений золота, олова, никеля, меди, каменного угля, торфа, леса, а также гидроресурсов и пресной воды. Интенсивное освоение месторождений приводит к негативным воздействиям на компоненты окружающей среды [Тентюков, 2010, Опекунов и др., 2012, Экологический отчет..., 2022]. Химическое загрязнение тундровых ландшафтов в результате промышленного освоения недр может привести к изменению геохимического фона и миграции

химических элементов в почвенно-растительном покрове.

Изменения в геохимическом фоне может быть вызвано и климатическими факторами. Увеличение температуры, наблюдаемые в последние десятилетия в криолитозоне Арктики, оказывает влияние на мощность многолетнемерзлых грунтов (ММГ) и сезонно талого слоя (СТС) [Анисимов и др., 2015, Третий оценочный доклад..., 2022]. Содержащиеся в СТС химические элементы вовлекаются в биогеохимический круговорот.

Цель работы заключается в оценке валового содержания и особенностей

внутрипрофильного распределения марганца, железа, никеля, цинка и свинца в тундровых почвах Ямала на территории Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ).

Материалы и методы

Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в 40 км от побережья Карского моря, в нижнем течении рек Сёяха, Мордыяха и Надуйяха.

Особенности почвообразования данной территории обусловлены суровыми климатическими условиями, равнинностью территории, наличием многолетне-мерзлых пород. Влияние вечной мерзлоты на почвообразование проявляется в виде барьера для движения нисходящих почвенных растворов, что способствует доминированию процессов оглеения почвенной толщи, образованию глеевых и органогенных почвенных горизонтов. Основные почвообразовательные процессы: подстилкообразование, оглеение, криотурбация, криогенное оструктурирование [Национальный атлас..., 2011].

Исследуемые типы и подтипы представлены тундровой болотной верховой (Fibric Histosol [IUSS Working Group WRB, 2022]) (профиль 1), тундровыми глеевыми (Histic Cryosol) (профиль 2, 3, 5, 6) и тундровой слабобиогенной (профиль № 4) (Eutric Cryosols) почвами.

Ямал представляет собой низменную полого-холмистую равнину, вся территория располагается в области многолетней мерзлоты мощностью около 300–400 м. Здесь залегает мощный чехол четвертичных осадочных пород, представленный

слоистыми песчано-глинистыми толщами морского и озерно-аллювиального генезиса [Лейбман, Кизяков, 2007].

В исследуемых почвах были определены основные химические и физико-химические показатели: водородный показатель, гидролитическая кислотность, емкость поглощения, содержание гумуса и углерода, различных форм минерального азота, подвижного фосфора, а также гранулометрический состав. Определение указанных показателей проводилось в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами [Аринушкина, 1970; Агрохимические методы..., 1975].

Валовое содержание марганца, железа, никеля, цинка и свинца в тундровых почвах Бованенковского НГКМ определено методом рентгено-флуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) г. Новосибирск.

Марганец и железо являются типоморфными элементами в почвах гумидных ландшафтов [Водяницкий, 2010]. Цинк и свинец, никель и медь при повышенном содержании в почве рассматриваются в качестве опасных и умеренно опасных загрязняющих веществ в практике как российского, так и международного экологического нормирования и мониторинга [Нестерук и др., 2019].

Результаты и их обсуждение

Климатические условия криолитозоны способствуют аккумуляции, консервации (слабой минерализации) органического

материала в верхних органогенных торфяных, торфянистых и торфяно-перегнойных горизонтах почв (О). Потери при прокаливании составляют 80–90%. В отличие от верхних, в минеральных горизонтах исследуемых почв (Bg, G), как правило, оглеенных и глеевых, содержание органического углерода составляет от <0.1 до 1.6 %. Для почв характерна сильноокислая, кислая (профиль 1, 2, 3, 4, 5) и щелочная реакция среды (профиль 6), показатель гидролитической кислотности составляет от 0.4 до 6.6 мг-экв/100 г почвы. Гранулометрический состав минеральных горизонтов почв легкосуглинистый (профиль № 2), супесчаный и легкосуглинистый (профиль № 3), песчаный (профиль № 4, № 5), легкоглинистый (профиль № 6).

Валовое содержание марганца в исследованных почвах Бованенковского НГКМ составляет от 0.009 до 0.618 % (табл. 1). Пределы колебания содержания элемента в почвах мира составляют от 0.001 до 0.9 %, в почвах Западной Сибири – от 0.0057 до 0.29% [Иванов, 1995, Сысо, 2004]. Региональный фон элемента в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО составляет от 0.0049 до 0.0269 % (табл. 2) [Опекунова и др., 2019].

Максимальное содержание элемента выявлено в органогенных горизонтах (О) исследованных почв, что обусловлено его биологической аккумуляцией. Марганец считается элементом среднего биологического накопления и сильного захвата (коэффициент биологического поглощения (КБП) составляет 7.5 [Алексеев, 2000; Trace Elements in Soils and Plants, 2010]). Коэффициент корреляции между органи-

ческим веществом почв в пересчете на углерод и валовым содержанием марганца составил $r=+0.5$. Однако более значимая положительная корреляция элемента выявлена с содержанием физической глины (сумма фракций размером менее 0.01 мм, средняя и мелкая пыль, грубый и мелкий ил) $r=+0.8$ (рис.1).

Среднее содержание элемента в органогенных горизонтах исследованных нами почв Бованенковского НГКМ превышает региональный фон почв Надым-Пур-Тазовского региона Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), в минеральных горизонтах находится в пределах фона и существенно ниже кларка (табл. 1, 2).

Валовое содержание железа в исследованных почвах составляет от 0.59 до 20.4% (табл. 1), пределы колебания содержания элемента в почвах мира – от 0.5 до 5%, в почвах Западной Сибири – от 0.36 до 9.05%, в низинных торфяниках Тверской области концентрации железа достигают 11%, региональный фон железа в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО – от 0.4 до 1.9% [Иванов, 1995; Сысо, 2004; Опекунова и др., 2019].

В отличие от марганца, элемент обладает низкой биофильностью (КБП составляет 0.2 [Алексеев, 2000]), за исключением железобактерий, для которых окисление двухвалентного железа является источником энергии [Перельман, 1999].

Аномально высокое валовое содержание элемента выявлено в торфяных и торфянистых горизонтах исследованных почв Бованенковского НГКМ (почвенный профиль 1, в слое 15–20 см и почвенный профиль 2, в слое 0–10 см) (табл.1).

Таблица 1

Валовое содержание элементов в почвах территории Бованенковского
нефтегазоконденсатного месторождения

Table 1

The total content of elements in soils of the territory
of the Bovanenkovo oil and gas condensate field

Горизонт, глубина, см	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
	%		мг/кг			
Тундровая болотная верховая, профиль № 1, N 70°20'00.51» E 68°46'59.71», h 27 м						
O (1–15)	0.618	1.68	38.0	63.0	590	28.1
O ₁ (15–20)	0.119	20.40	102.0	40.0	271	45.6
O ₂ (20–25)	0.053	4.81	148.0	38.0	62	15.1
Тундровая глеевая торфяная, профиль № 2 N 70°20'2.56» E 68°47'2.70», h 26 м						
O ₁ (0–10)	0.063	10.10	122.0	66.0	297	41.4
O ₂ (10–21)	0.031	7.48	137.0	52.2	39.7	13.7
B (21–43)	0.016	1.58	17.2	24.7	35.3	14.3
Тундровая глеевая торфянистая, профиль № 3, N 70°20'6.03» E 68°47'0.26», h 26 м						
O (0–10)	0.073	8.07	56.0	60.0	84	26.2
B ₁ (10–37)	0.016	1.49	12.9	18.0	24.1	11.5
B ₂ (37–60)	0.033	1.62	17.4	21.6	29.9	11.5
G (60–73)	0.014	0.99	31.7	13.2	24.2	11.9
Тундровая слабобиогенная, профиль № 4, N 70°20'38.57» E 68°48'9.79» h 23 м						
A (0–9)	0.017	0.68	6.9	15.0	21.3	12.3
B (9–33)	0.019	1.04	11.7	6.3	22.1	12.0
C ₁ (33–83)	0.014	0.65	9.0	17.4	17.6	11.0
C ₂ (83–112)	0.009	0.59	0.6	8.4	15.6	11.4
G ₁ (112–120)	0.070	2.68	34.8	48.5	57	16.6
G _{2g} (120–130)	0.023	1.39	16.9	25.0	29.6	15.0
Тундровая глеевая торфянистая, профиль № 5, N 70°20'44.65» E 68°47'25.89» h 22 м						
O (0–5)	0.035	4.62	27.7	35.4	114	28.1
B _{1g} (5–20)	0.009	0.69	7.7	8.4	17	12.6
B _{2g} (30–40)	0.012	1.11	10.2	18.5	18.5	13.8
Cg (70–80)	0.020	1.24	15.1	10.8	20.8	12.8
Тундровая глеевая торфянисто–перегнойная, профиль № 6, N 70°20'42.13» E 68°51'28.80», h 23 м						
O (0–4)	0.284	4.13	62.0	61.0	179	28.5
B _{1g} (10–20)	0.064	3.16	32.7	38.7	64	17.2
B _{2g} (40–60)	0.061	3.45	29.6	31.5	59	19.0
G (60–70)	0.056	3.29	33.2	36.8	68	17.1
Среднее содержание в органогенных горизонтах исследуемых почв (n=8)	0.16±0.07	7.6±2	86.5±16.4	51.9±4.3	204.5±64.4	28.3±3.9
Среднее содержание в минеральных горизонтах исследуемых почв (n=15)	0.03±0.005	1.6±0.2	18.7±2.8	21.86±3.2	33.5±4.8	13.8±0.6
Почвы Бованенковского НГКМ, n=220 [Московченко, 2010]	0.0693±0.008	-	24±4.7	20±2.1	36±7.3	9.8±3.0
Кларк почв [Алексеевко, 2000]	0.08	3.8	40	20	50	10
ОДК	0.15*	-	20 (40)	33 (66)	55 (110)	32 (65)

Примечание: – ОДК для песчаных и супесчаных (кислых суглинистых и глинистых) почв;
*ПДК по СанПиН 1.2.3685-21; “-” – нет данных.

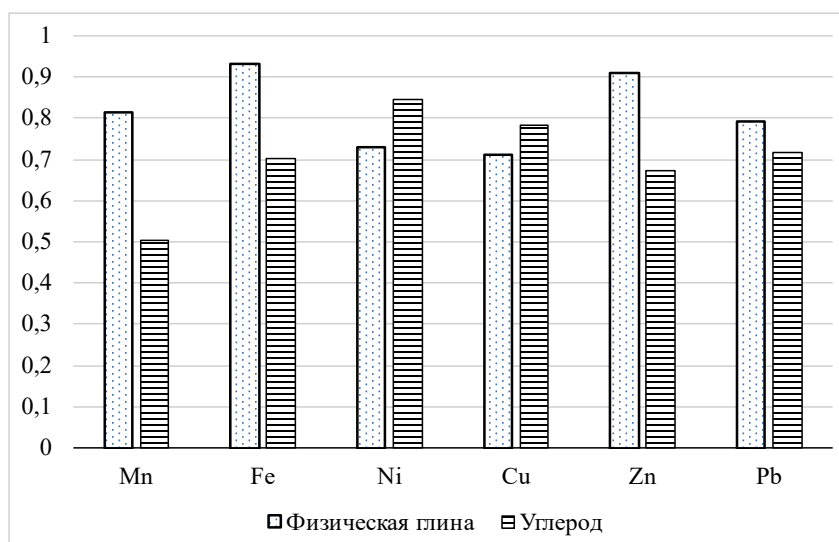


Рис.1. Коэффициенты корреляции между валовым содержанием элементов и количеством физической глины и органического вещества почв в пересчете на углерод

Fig.1. Correlation coefficients between the total content of elements and the amount of physical clay and organic matter of soils in terms of carbon

Одной из причин высокого содержания элемента в верхней части профиля автономных ландшафтов субарктических территорий может быть осаждение железосодержащих аэрозолей из приземного атмосферного воздуха [Тентюков, 2010]. При проведении экспедиционных работ на Ямале в 1990 г. в южной подзоне субарктических тундр были выявлены аномально высокие концентрации подвижного железа – до 500–800 мг/100 г почвы [Дедков, 1995].

Среднее содержание элемента в органогенных горизонтах исследованных нами почв Бованенковского НГКМ превышает региональный фон для почв Надым-Пур-Тазовского региона Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), а в минеральных горизонтах почв находится в пределах фона и значительно ниже кларка (табл.1, 2).

Коэффициент корреляции между органическим веществом почв в пересчете на углерод и валовым содержанием железа в почвах Бованенковского НГКМ составляет

$r=+0.7$. Значимая положительная корреляция элемента выявлена и с содержанием физической глины – $r=+0.9$ (рис.1).

Валовое содержание никеля в исследованных почвах составляет от 0.6 до 148 мг/кг (табл. 1). Региональный фон элемента в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО варьирует в пределах от 6.3 до 12.9 мг/кг, в почвах мира – от 1 до 100 мг/кг, в почвах Западной Сибири – от 37 до 41 мг/кг [Сысо, 2004; Trace Elements in Soils and Plants, 2010; Опекунова и др., 2019]. Биофильность никеля низкая, КБП составляет 0.9.

Максимальное содержание никеля выявлено в органогенных горизонтах почв Бованенковского НГКМ, но в отличие от железа и марганца, максимумы аккумуляции элемента выявлены на глубине 20–25 см (почвенный профиль 1) и 10–20 см (почвенный профиль 2) (табл. 1).

Среднее валовое содержание никеля в органогенных и минеральных горизонтах исследованных нами почв Бованенковского

НГКМ превышает региональный фон для почв Надым-Пур-Тазовского региона Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Среднее содержание элемента в минеральных горизонтах находится на уровне фона для почв Бованенковского НГКМ и кларка почв (табл. 1, 2).

Коэффициент корреляции между органическим веществом почв и валовым содержанием никеля в почвах составляет $r=+0.8$. Значимая положительная корреляция элемента с содержанием физической глины – $r=+0.7$.

Содержание меди в исследованных почвах Бованенковского НГКМ варьирует от 6.3 до 66 мг/кг (табл. 1). Региональный фон элемента в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО варьирует в пределах от 5.5 до 9.1 мг/кг (табл. 2) [Опекунова и др., 2019]. Среднее содержание в тундровых почвах Бованенковского НГКМ составляет 20 мг/кг [Московченко, 2010], в почвах мира – 30 мг/кг [Bowen, 1979], в почвах юга Западной

Сибири – 30.6 мг/кг [Сысо, 2004]. КБП элемента – 4.2 [Алексеев, 2000].

Максимумы валового содержания меди выявлены в поверхностных органогенных горизонтах исследованных почв Бованенковского НГКМ, что превышает региональный фон почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО (табл. 2). В минеральных горизонтах среднее содержание меди находится на уровне фона для тундровых почв территории месторождения (табл. 1).

Коэффициент корреляции между органическим веществом почв и валовым содержанием меди составил $r=+0.78$. Значимая положительная корреляция элемента выявлена с содержанием физической глины $r=+0.71$ (рис.1).

Валовое содержание цинка в исследованных почвах Бованенковского НГКМ находится в пределах от 15.6 до 590 мг/кг (табл. 1). Региональный фон элемента в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО составляет от 17.4 до 34.9 мг/кг (Табл. 2) [Опекунова и др., 2019].

Таблица 2

Региональный фон тяжелых металлов в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО [Опекунова и др., 2019]

Table 2

Regional background levels of heavy metals in different soil horizons of the Nadym-Pur-Taz region of the YNAO [Opekunova et al., 2019]

Элемент	Гор. О	Гор. В		Торфяники (n= 211)
		гранулометрический состав		
	на легких и тяжелых породах (n = 344)	легкий (n=113)	тяжелый (n=267)	
Mn, %	0.024±0.002	0.0183±0.0024	0.0264±0.0019	0.0049±0.0009
Fe, %	0.879±0.073	1.24±0.16	1.94±0.094	0.489±0.07
Ni, мг/кг	8.89±0.54	7.05±0.97	12.9±0.8	6.34±0.50
Cu, мг/кг	7.92±0.33	5.54±0.64	9.11±0.5	6.24±0.58
Zn, мг/кг	34.9±1.4	19.7±1.8	32.9±1.6	17.4±1.5
Pb, мг/кг	13.5±0.5	8.13±0.73	10.6±0.4	4.93±0.45

Среднее содержание в тундровых почвах Бованенковского НГКМ составляет 36 мг/кг [Московченко, 2010], в почвах мира – 90 мг/кг [Bowen, 1979], пределы колебаний содержания в почвах Западной Сибири – от 8 до 190 мг/кг [Сысо, 2004]. КБП элемента – 10.8 [Алексеев, 2000].

Максимумы валового содержания цинка установлены в поверхностных органических горизонтах исследованных почв Бованенковского НГКМ, что превышает региональный фон почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО (табл. 2). В минеральных горизонтах среднее содержание меди находится на уровне фона тундровых почв территории месторождения (табл. 1).

Одним из источников поступления цинка на поверхность почв Ямала могут быть атмосферные аэрозоли. По данным [Куценогий, Куценогий, 2000], было выявлено увеличение массовой концентрации элемента в атмосферных аэрозолях от северной тайги Пурской низменности (г. Тарко-Сале) к тундре (г. Самбург).

Коэффициент корреляции между органическим веществом почв и валовым содержанием цинка составил $r=+0.67$. Значимая положительная корреляция элемента выявлена с содержанием физической глины – $r=+0.91$ (рис. 1).

Валовое содержание свинца в исследованных почвах Бованенковского НГКМ составляет от 11 до 45.6 мг/кг (табл. 1). Региональный фон элемента в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО составляет от 4.9 до 34.9 мг/кг (табл. 2) [Опекунова и др., 2019]. Среднее содержание в тундровых почвах Бованенковского НГКМ составляет 9.8 мг/кг [Московченко, 2010]. Пределы колебаний содержания элемента в почвах мира – от 10

до 35 мг/кг [Bowen, 1979], в почвах Западной Сибири – от 2 до 47 мг/кг [Сысо, 2004]. КБП элемента – 0.6 [Алексеев, 2000].

Среднее валовое содержание свинца в органических и минеральных горизонтах исследованных нами почв Бованенковского НГКМ превышает региональный фон для почв Надым-Пур-Тазовского региона ЯНАО (табл. 1, 2).

Коэффициент корреляции между органическим веществом почв и валовым содержанием свинца составляет $r=+0.71$, с содержанием физической глины – $r=+0.79$ (рис. 1).

Валовое содержание всех элементов в минеральных горизонтах исследованных почвах Бованенковского НГКМ не превышает ПДК и ОДК (табл. 1).

При морфологическом описании почвенного профиля 4 в полевых условиях мы отмечали наличие в нижней части профиля на границе горизонта G_1 (глубина 112 см) тонкого охристого слоя, что указывает на место локального окисления железа и смену восстановительных условий на окислительные. Результаты определения химического состава почв показали, что в данном горизонте увеличиваются концентрации всех исследуемых элементов. Известно, что на железомарганцевых конкрециях происходит аккумуляция многих элементов. Значимая положительная корреляция в тундровых почвах Бованенковского НГКМ выявлена между железом, никелем и свинцом, марганцем и цинком (табл. 3, рис. 2).

В минеральных горизонтах почв с увеличением содержания физической глины повышалось и валовое содержание элементов, что подтверждается значимыми коэффициентами положительной корреляции (рис. 1, 2).

Таблица 3

Корреляционная матрица валового содержания элементов
в почвах Бованенковского НГКМ (n=24, p <0.05)

Table 3

Correlation matrix of the total content of elements in the soils
of the Bovanenkovo oil and gas condensate field (n=24, p <0.05)

Элемент	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
Mn	1.00	0.10	0.15	0.58	0.89	0.43
Fe	0.10	1.00	0.69	0.53	0.40	0.83
Ni	0.15	0.69	1.00	0.65	0.34	0.52
Cu	0.58	0.53	0.65	1.00	0.66	0.70
Zn	0.89	0.40	0.34	0.66	1.00	0.72
Pb	0.43	0.83	0.52	0.70	0.72	1.00

Примечание: курсивом выделены наиболее значимые коэффициенты корреляции

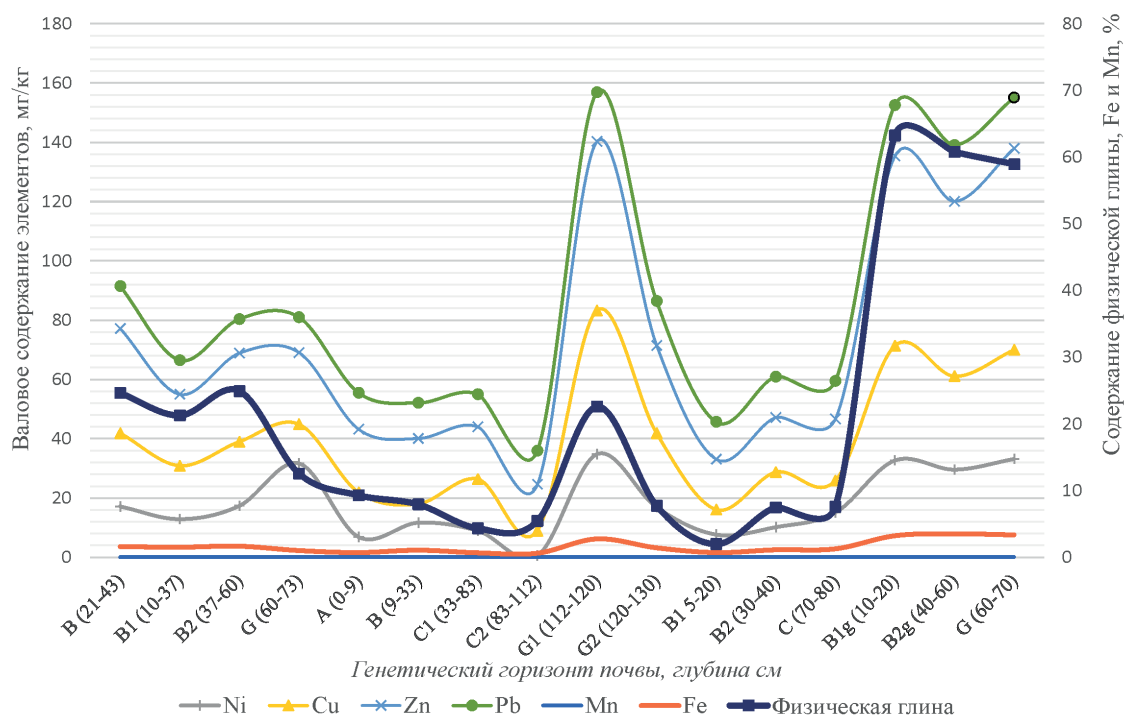


Рис. 2. Распределение валового содержания элементов и физической глины в минеральных горизонтах почв Бованенковского НГКМ.

Fig.2. Distribution of the total content of elements and physical clay in the mineral horizons of soils of the Bovanenkovo oil and gas condensate field.

Выводы

1. Органогенные горизонты исследованных тундровых почв Бованенковского НГКМ отличаются от минеральных повышенным валовым содержанием всех элементов, особенно железа и марганца. По среднему валовому содержанию элементы

образуют следующий ряд: в органогенных горизонтах – Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Pb; в минеральных – Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb.

2. На содержание и распределение элементов в почвах существенное влияние оказывает органическое вещество и гранулометрический состав, смена окислительно-восстановительной обстановки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interests

Работа выполнена в рамках проектов (ALW-GO/16-13) «Вычислительные методы оценки глубокого и неглубокого оттаивания вечно-мерзлотных пород на основе использования радарных данных дистанционного зондирования», FUFZ-2021-0003 № 121031200177-1 «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия», при поддержке МЭЦ «Арктика» (г. Салехард).

Список литературы

- Анисимов О.А., Жирков А.Ф., Шерстюков А.Б. Современные изменения криосферы и природной среды в Арктике // Арктика. XXI век. Естественные науки. 2015. № 2. С. 24–47.
- Агрохимические методы исследования почв. М., Наука, 1975. 655 с.
- Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
- Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Моск. унив., 1970. 487 с.
- Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М.: ГНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии», 2010. 155 с.
- Дедков В.С. Почвы равнины Ямала. Почвенный покров водоразделов // Природа Ямала / Ред. Л.Н. Добринский. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. С. 103–121.
- Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. Кн. 4: Главные d-элементы / Ред. Э.К. Буренкова. М.: Экология, 1995. 416 с.
- Куценогий К.П., Куценогий П.К. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований // Сиб. экол. журн. 2000. № 1. С. 11–19.
- Лейбман М.О., Кизяков А.И. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова, М.: Изд-во ИКЗ СО РАН. 2007. 206 с.
- Московченко Д.В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики: Дис. ... докт. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2010. 394 с.
- Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель: АСТ Москва, 2011. 632 с.
- Нестерук (Шипкова) Г.В., Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Сушкова С.Н., Константинова Е.Ю. Содержание и распределение Mn, Fe, Ni, Zn и Pb в автоморфных почвах Полистовского заповедника // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 46. С. 6–25
- 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.
- Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообра-

зующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 227 с.

Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар, 2010. 260 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.

Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2022 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/56/691615/gazprom-environmental-report-2022-ru.pdf> (дата обращения: 07.07.23).

Перельман А.И. Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 2000, 1999. 768 с.

Bowen H. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London. xv, 1979. 333 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 2022. 236 p.

Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group. 2010. 548 p.

References

Anisimov O.A., Zhirkov A.F., Sherstyukov A.B. Sovremennye izmeneniya kriosfery i prirodnoj sredy v Arktike [Current changes in cryosphere and environment in the Arctic] // Arktika. XXI vek. Estestvennye nauki [The Arctic. XXI century. Natural sciences]. 2015. No. 2. P. 24–47. (In Russian).

Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. M., Nauka, 1975. 655 p. (In Russian).

Alekseenko V.A. Ekologicheskaya geohimiya [Ecological geochemistry]. M.: Logos, 2000. 627 p. (In Russian).

Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Soil Chemical Analysis Guide]. M.: Mosk. univ., 1970. 487 p. (In Russian).

Vodyanickiy Yu.N. Soedineniya zheleza i ih rol' v ohrane pochv [Iron compounds and their role in soil protection]. M.: GNU «Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii», 2010. 155 p. (In Russian).

Dedkov V.S. Pochvy ravniny Yamala. Pochvennyy pokrov vodorazdelov [Soils of the Yamal Plain. Soil cover of watersheds] // Priroda Yamala / Ed. L.N. Dobrinskiy. Ekaterinburg: UIF «Nauka», 1995. P. 103–121. (In Russian).

Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov: Spravochnik: V 6 kn. Kn. 4: Glavnye d-elementy. [Ecological geochemistry of elements: Handbook: In 6 books. Book 4: Main d-elements] / Ed. E.K. Burenkova. M.: Ekologiya, 1995. 416 p. (In Russian).

Kucenogij K.P., Kucenogij P.K., Aerzoli Sibiri. Itogi semiletnih issledovaniy [Aerosols of Siberia. Results of seven years of research] // Sib. ekol. zhurn. 2000. № 1. P. 11–19. (In Russian).

Lejbman M.O., Kizyakov A.I. Kriogennyye opolzni Yamala i Yugorskogo poluostrova

[Cryogenic landslides in Yamal and the Yugra Peninsula]. M.: Izd-vo IKZ SO RAN. 2007. 206 p. (In Russian).

Moskovchenko D.V. Geohimiya landshaftov severa Zapadno-Sibirskoj ravniny: struktural'no-funkcional'naya organizaciya veshchestva geosistem i problemy ekodiagnostiki dissertatsiya doktora geograficheskikh nauk [Geochemistry of landscapes in the north of the West Siberian Plain: structural and functional organization of the substance of geosystems and the problems of ecodiagnosics]: DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Sankt-Peterburg, 2010. 394 p. (In Russian).

Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii [National Soil Atlas of the Russian Federation]. M.: Astrel': AST Moskva, 2011. 632 p. (In Russian).

Nesteruk (Shipkova) G.V., Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Nevidomskaya D.G., Sushkova S.N., Konstantinova E.Yu. Soderzhanie i raspredelenie Mn, Fe, Ni, Zn i Pb v avtomorfnykh pochvakh Polistovskogo zapovednika [Content and distribution of Mn, Fe, Ni, Zn and Pb in automorphic soils of the Polistovsky Reserve] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Tomsk State University. Biology.]. 2019. No. 46. P. 6–25. (In Russian).

Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G. Fonovoe sodержание khimicheskikh ehlementov v pochvakh i donnykh osadkakh severa Zapadnoj Sibiri [Background content of chemical elements in soils and bottom sediments of the North of Western Siberia] // Pochvovedenie [Soil science]. 2019. No. 4. P. 422–439. (In Russian).

Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri [Patterns of distribution of chemical elements in parent rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007. 227 p. (In Russian).

Tentyukov M.P. Geohimiya landshaftov ravninnykh tundr (na primere Yamala i Bol'shezemel'skoj tundry) [Geochemistry of plain tundra landscapes (Yamal and Bolshezemelskaya tundra as a case study)]. Syktyvkar, 2010. 260 p. (In Russian).

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshechee rezyume [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 p.

Ekologicheskij otchet PAO «Gazprom» za 2022 god. [Environmental report of PJSC Gazprom for 2022]. URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/56/691615/gazprom-environmental-report-2022-ru.pdf> (accessed: 07.07.23).

Perel'man A.I. Kasimov N.S. Geohimiya landshafta [Landscape geochemistry] M.: As-treya, 2000. 1999. 768 p. (In Russian).

Bowen H. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London. xv, 1979. 333 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 2022. 236 p.

Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group. 2010. 548 p.

MANGANESE, IRON, NICKEL, COPPER, ZINC AND LEAD IN TUNDRA SOILS (CENTRAL YAMAL)

D.N. Balykin, N.M. Kovalevskaya, A.V. Puzanov, T.A. Rozhdestvenskaya

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: balykindn@yandex.ru, nelleyk@mail.ru, puzanov@iwep.ru, rtamara@iwep.ru

The results of study of the total content of manganese, iron, nickel, copper, zinc and lead in tundra soils of the territory of the Bovanenkovo oil and gas condensate field were presented. It was found that organic horizons of soils differ by a high total content of all elements, especially iron and manganese, in contrast to mineral ones. According to the average total content, the elements form the following series: in organic horizons - $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb$, in mineral ones – $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb$. The content and distribution of elements in soils were significantly affected by organic matter and particle size distribution, as well as changes of the redox environment.

Keywords: manganese; iron; nickel; zinc; lead; tundra soils; Bovanenkovo oil and gas condensate field; Yamal Peninsula.

Received July 14, 2023. Accepted: August 15, 2023

Сведения об авторах

Балыкин Дмитрий Николаевич – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3076-360X. E-mail: balykindn@yandex.ru.

Ковалевская Нелли Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-6522-4369. E-mail: nelleyk@mail.ru.

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Рожественская Тамара Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru

Information about the authors

Balykin Dmitrij Nikolaevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3076-360X. E-mail: balykindn@yandex.ru.

Kovalevskaya Nelli Mihajlovna – Ph.D. of Technical sciences, Senior Researcher of the laboratory of water resources and water use of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-6522-4369. E-mail: nelleyk@mail.ru.

Puzanov Aleksandr Vasil'evich – Dr Sc. in Biology, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Rozhdestvenskaya Tamara Anatol'evna – Ph D. in Biology, Senior Researcher of the laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru