

# ЭКОЛОГИЯ, БИОЦЕНОЛОГИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ ECOLOGY, BIOCENOLOGY AND BIOGEOGRAPHY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-228-243>  
УДК 58.051



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

## Изучение взаимосвязей агрохимических показателей почв с видовым составом растений некоторых участков дельты реки Лены, Северная Якутия

Д.С. Карлов<sup>1\*</sup>, О.Д. Большаянова<sup>2,3</sup>, Н.Н. Лащинский<sup>4</sup>, А.А. Белимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> — ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> — ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

\*deniskarlov23@gmail.com

### Резюме

В связи с изменением климата и освоением природных ресурсов Арктики все более актуальной становится проблема выявления ответной реакции тундровой растительности на различные природные и антропогенные воздействия, а также поиск индикаторов для разработки системы мониторинга состояния экосистем Крайнего Севера. Целью данной работы было описание флористического состава и строения растительных сообществ, а также поиск взаимосвязей между агрохимическими показателями почв и видовым составом растений на отдельных ключевых участках дельты реки Лены. Всего было изучено десять ключевых участков дельты Лены. Агрохимический анализ образцов почв был изучен стандартными методами. Содержание биогенных и абиогенных элементов измеряли с помощью эмиссионного спектрометра. Взаимосвязь между показателями почв и флористическим составом выявляли с помощью кластерного анализа. Было показано, что кластеризация участков по стандартным агрохимическим показателям была выражена слабо, тогда как по содержанию элементов в минерализованных образцах и в водных вытяжках участки группировались в два кластера на уровне 40÷60 % различий. Кластеризация участков по видовому составу растений была выражена очень слабо, и выявить кластеры с высоким или средним уровнем сходства не удалось, так же как не удалось обнаружить сходства кластерных диаграмм, построенных по почвенным параметрам и по видовому составу растений. В результате проведенного исследования показано, что видовой состав сосудистых растений слабо коррелировал со свойствами почв ключевых участков. Выявленные отдельные особенности проявлялись в виде тенденций, и четких закономерностей взаимосвязи растительного покрова и показателей почв не прослеживалось.

**Ключевые слова:** агрохимический и элементный анализ, Арктика, дельта реки Лены, растительность, фитоиндикация, холодные почвы.

**Для цитирования:** Карлов Д.С., Большианова О.Д., Лащинский Н.Н., Белимов А.А. Изучение взаимосвязей агрохимических показателей почв с видовым составом растений некоторых участков дельты реки Лены, Северная Якутия // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 2. С. 228–243. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-228-243>.

Поступила 30.03.2023

После переработки 02.05.2023

Принята 05.05.2023

## **Study of the relationship between agrochemical indicators of soils and species composition of plants in some sites of the Lena River Delta, Northern Yakutia**

*Denis S. Karlov<sup>1\*</sup>, Olga D. Bolshiyanova<sup>2,3</sup>, Nikolay N. Laschinsky<sup>4</sup>, Andrew A. Belimov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> — *FGBNU All-Russia Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> — *State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

<sup>3</sup> — *Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

<sup>4</sup> — *FGBUN Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia*

*\*deniskarlov23@gmail.com*

### **Summary**

In connection with climate change and the development of natural resources in the Arctic, increasingly relevant is the problem of revealing the response of tundra vegetation to various natural and anthropogenic impacts, as well as the search for indicators for developing a system of monitoring the state of ecosystems in the Far North. The aim of this work was to describe the floristic composition and structure of plant communities, as well as to search for relationships between agrochemical indicators of soils and the species composition of plants in certain key sites of the Lena River Delta. A total of ten key sites of the Lena delta were studied. Agrochemical analysis of the soil samples was performed using standard methods. The content of biogenic and abiogenic elements was measured using an emission spectrometer. The relationship between the soil parameters and floristic composition was studied using cluster analysis. It was shown that the clustering of sites by standard agrochemical indicators was weakly expressed, while in terms of the content of elements in the mineralized samples and in water extracts the sites were grouped into two clusters at the level of 40 %-60 % of the differences. The clustering of sites by plant species composition was very weak, and it was not possible to identify clusters with high or medium level of similarity, nor was it possible to detect similarity between cluster diagrams constructed by soil parameters and by plant species composition. As a result of the study, it is shown that the species composition of vascular plants weakly correlates with the properties of the soils of the key sites. The individual features identified manifest themselves in the form of trends and no clear patterns of interrelation of vegetation and soil parameters are discerned.

**Keywords:** agrochemical and elemental analysis, Arctic, cold soils, Lena River Delta, phytoindication, vegetation.

**For citation:** Karlov D.S., Bolshiyanova O.D., Laschinsky N.N., Belimov A.A. Study of the relationship between agrochemical indicators of soils and species composition of plants in some sites of the Lena River Delta, Northern Yakutia. *Arctic and Antarctic Research*. 2023, 69 (2): 228–243. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-228-243>.

Received 30.03.2023

Revised 02.05.2023

Accepted 05.05.2023

**ВВЕДЕНИЕ**

В связи с изменением климата и освоением природных ресурсов Арктики все более актуальной становится проблема выявления ответной реакции тундровой растительности на различные природные и антропогенные воздействия, а также поиск индикаторов для разработки системы мониторинга состояния экосистем Крайнего Севера [1]. Фитоиндикация — метод, использующий информацию о растительности (отдельных видах и сообществах) в качестве показателя (индикатора) состояния исследуемых компонентов среды, в том числе почв [2]. По наличию и состоянию совокупности растений можно прямо либо косвенно судить о свойствах среды, а также происходящих естественных и антропогенных изменениях. Несомненным достоинством фитоиндикации является то, что растения дают обобщенные и усредненные характеристики экологических режимов в силу значительной инерции в ответной реакции на изменение тех или иных параметров среды. Они отзываются на продолжительные изменения режима, а не на его кратковременные флуктуации. На кратковременные изменения условий среды растения реагируют лишь изменением биомассы [3]. Применение методов фитоиндикации имеет широкий спектр задач от сельскохозяйственной оценки земель и поиска полезных ископаемых до определения количественных и качественных показателей загрязнения биосферы [4]. Обзорные работы, посвященные методам фитоиндикации в целом и использованию экологических шкал в частности, были опубликованы как отечественными [5–8], так и зарубежными авторами [9, 10].

Фитоиндикаторами могут являться отдельные растения и фитоценозы, а также особенности морфологии и физиологии растений, которые в силу тесной взаимосвязи с различными компонентами ландшафта указывают на характер, распределение, динамику условий окружающей среды [11]. Использование отдельных видов в качестве индикатора имеет преимущество в том, что их пространственное распределение четко определено при достаточно развитой способности выживать долгое время после смены оптимальных условий на худшие [2].

В работе Е.Н. Ивановой [12], касающейся тундр севера Западной Сибири, показана взаимосвязь растительности и почв. В тундровых ландшафтах Обской губы, где имеется чередование более дренированных пространств с увалистым рельефом и выровненных заболоченных понижений, была выявлена приуроченность почв к элементам рельефа и растительным ассоциациям. Растительные сообщества поэтому могут быть использованы как индикаторы различных отложений и их механического состава [7, 12]. Было показано, что фитоиндикация стадий разветвления песчаных отложений водоразделов в типичных тундрах Ямала позволила выделить надежные виды-индикаторы процесса эрозии [13]. В то же время тундровые ландшафты, их растительность и почвы изучены недостаточно, и поэтому индикационные закономерности в них не установлены. Единичные исследования были направлены на выявление таких важных характеристик природы, как определение состава поверхностных отложений, характера морозобойного растрескивания грунтов, определение глубины оттаивания почв и пород, выявление таликовых участков, глубины снежного покрова, особенностей свойств тундровых почв [7].

Дельта реки Лены расположена в области с арктическим континентальным климатом, характеризуемым следующими параметрами: среднегодовая температура воздуха  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднеянварская температура  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднеиюльская температура  $+6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , годовое количество осадков 190 мм. Дельта находится в области

вечномерзлых пород с непрерывной мерзлотой толщиной 500–600 м. Толщина сезонно-талого слоя в среднем 30–50 см [14]. Почвы дельты реки Лены развиваются под влиянием двух основных почвообразовательных процессов: аллювиального и криогенного [15]. Почвы представлены в основном следующими группами: флювисоли, умбрисоли, подзолы, криосоли, гистосоли, глеесоли (классификация почв приведена по мировой реферативной базе почвенных ресурсов) [16].

На территории дельты реки Лены проводились исследования, направленные на изучение строения и формирования дельтового комплекса, гидрохимического состояния речных вод, а также морфологического, химического и физического состава почв [13]. Среди ботанических исследований дельты реки Лены стоит отметить работы по сравнению спорово-пыльцевых спектров с составом современной растительности, которые дают весьма широкое представление о современной и палеорастительности [17].

Разнообразие современной растительности и различные сукцессионные процессы были описаны Н.Н. Лашинским. Его исследования распространения растительного покрова в зависимости от особенностей рельефа и субстрата проводятся комплексно, сочетая традиционные наземные исследования и методы дистанционного зондирования с высоким разрешением [18]. Важным направлением ботанических исследований в дельте реки Лены являются лесоводственно-геоботанические, а также экологические исследования притундровых лиственничных редколесий [19–21]. В данных работах изучались растительные сообщества редколесий, состояние лиственничных древостоев и влияние различных условий, в том числе почвенных, на их произрастание. Однако на исследуемых территориях сравнительное изучение агрохимических характеристик почв, концентраций доступных растениям биогенных элементов и особенностей растительного покрова не проводилось.

Целью данной работы являлся поиск взаимосвязей между агрохимическими показателями почв и видовым составом растительности в районе дельты реки Лены, а именно: (1) изучить флористический состав и строение растительных сообществ ключевых участков; (2) установить, какие почвенные показатели важны для колонизации определенными видами растений ландшафтов в экстремальных климатических условиях; (3) оценить возможность прогнозирования по составу растительного сообщества, какие питательные элементы могут находиться в почве в недостатке или избытке, без проведения химических анализов.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для исследований участки выбирались путем сравнения рельефа, условий почвообразования, и состава растительности. Были выбраны десять модельных участков площадью 3 × 3 метра, на которых изучался флористический состав и почвенные показатели. Почвенные образцы отбирали из корнеобитаемого слоя с глубины 8–20 см. Координаты изучаемых участков определялись с помощью 12-канального GPS-приемника.

Местоположение и описание изучаемых участков:

Участок № 1: вершина холма возле полярной метеостанции им. Хабарова, метров над уровнем моря (м н. у. м.) — 150, глубина сезонно-талого слоя (г. с. с.) — 29 см. Растительный покров: кочкарная пушицево-зеленомошная тундра. Координаты: 72° 23' 32" с. ш., 126° 47' 22" в. д., тип почвы: криозем грубогумусовый, надмерзлотно-оглеенный.

Участок № 2: вершина холма возле полярной метеостанции им. Хабарова в непосредственной близости с местом выхода коренной породы на поверхность, м н. у. м. — 140, г. с. с. — 34 см. Растительный покров: дриадово-зеленомошная тундра. Координаты: 72° 23' 37" с. ш., 126° 47' 27" в. д., тип почвы: криозем грубогумусовый.

Участок № 3: высокий берег ручья возле полярной метеостанции им. Хабарова, м н. у. м. — 58, г. с. с. — 60 см. Растительный покров: хвощево-зеленомошная сырая тундра. Координаты: 72° 23' 40" с. ш., 126° 49' 8" в. д., тип почвы: криозем грубогумусовый, криогенно-ожеженный, глееватый.

Участок № 4: крутой берег озера на старом аласе на острове Курунгнах, м н. у. м. — 30, г. с. с. — 73 см. Растительный покров: дриадово-зеленомошная тундра. Координаты: 72° 18' 37" с. ш., 126° 15' 36" в. д., тип почвы: мерзлотная аласная почва.

Участок № 5: высокая пойма на острове Сордох-Арыга Северный, м н. у. м. — 10, г. с. с. — 118 см. Растительный покров: злаковник разнотравный. Координаты: 72° 18' 48" с. ш., 126° 30' 48" в. д., тип почвы: аллювиальная надмерзлотно-оглеенная.

Участок № 6: поверхность первой надпойменной террасы на острове Сордох-Арыга Северный, м н. у. м. — 15, г. с. с. — 49 см. Растительный покров: полигонально-валиковый тундрово-болотный комплекс. Координаты: 72° 18' 46" с. ш., 126° 29' 32" в. д., тип почвы: аллювиальная надмерзлотно-оглеенная.

Участок № 7: высокий берег озера Бая-2 на острове Самойловский, м н. у. м. — 15, г. с. с. — 30 см. Растительный покров: осоково-зеленомошная тундра. Координаты: 72° 22' 8" с. ш., 126° 29' 59" в. д., тип почвы: глеезем мерзлотный.

Участок № 8: берег озера Катя в высокой пойме на острове Самойловский, м н. у. м. — 0–3, г. с. с. — 57 см. Растительный покров: ивовые заросли с разнотравно-хвощевым покровом. Координаты: 72° 23' 1" с. ш., 126° 28' 41" в. д., тип почвы: криозем грубогумусовый, надмерзлотно-оглеенный.

Участок № 9: переход от поймы к первой террасе на острове Самойловский, пологая часть склона, м н. у. м. — 5–10, г. с. с. — 81 см. Растительный покров: разнотравно-зеленомошная ивовая тундра. Координаты: 72° 23' 1" с. ш., 126° 28' 55" в. д., тип почвы: аллювиальная надмерзлотно-оглеенная.

Участок № 10: край первой террасы на острове Самойловский, м н. у. м. — 10, г. с. с. — 95 см. Растительный покров: дриадово-зеленомошная тундра. Координаты: 72° 23' 1" с. ш., 126° 28' 57" в. д., тип почвы: аллювиальная надмерзлотно-оглеенная.

Для проведения агрохимического анализа почву высушивали при комнатной температуре, размалывали в ступке и просеивали через сито с диаметром ячеек 0,25 мм. Степень насыщенности почв основаниями рассчитывалась по результатам определения гидролитической кислотности и суммы обменных оснований по методу Каппена [22]. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина [22]. Для определения общего содержания биогенных (B, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, S и Zn) и абиогенных (Al, Cd, Hg и Pb) элементов навески 1 г сухой измельченной почвы (2-кратная повторность) минерализовали в смеси концентрированной HNO<sub>3</sub> и 38 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:1) при 70 °C в течение 5 часов с использованием графитовой системы DigiBlock (LabTech, Италия). Затем разбавленную в 20 раз бидистиллированной водой пробу отстаивали и отбирали надосадочную жидкость для анализа. Для определения водорастворимых форм этих элементов к 250 мг сухой измельченной почвы добавляли 10 мл бидистиллированной воды, встряхивали в течение 1 часа на качалке и центрифугировали 15 мин при 4 °C и 9000 об./мин. К супернатанту до-

бавляли  $\text{HNO}_3$  до конечной концентрации 2 % для предотвращения развития микроорганизмов. Содержание элементов в надосадочных жидкостях и супернатантах определяли с помощью эмиссионного спектрометра ICPE-9000 (Shimadzu, Япония) по стандартной методике производителя.

Статистический анализ данных проводили с помощью программного обеспечения STATISTICA v. 10 ("TIBCO Software Inc.", США). Кластерный анализ выполняли методом Варда с использованием евклидовых расстояний. Для корреляционного анализа использовали коэффициенты корреляции Пирсона ( $r$ ) и Спирмена ( $R$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав растений на изученных участках представлен в табл. 1. Наиболее часто встречались дриада точечная, горец живородящий и ива сетчатая, которые были найдены на семи, шести и пяти участках соответственно. Остальные виды присутствовали на двух или трех участках. Арктоус альпийский, армерия приморская, грушанка круглолистная, ива аляскинская, ива (*Salix* sp.), камнеломка козлик, лиственница Каяндера и пушица влагилишная обнаружены только на одном из участков (см. табл. 1). Наиболее бедными по видовому составу растений (по 4 вида) были участки № 1, № 6 и № 10, а максимальное видовое разнообразие (по 7 видов) обнаружено на участках № 4 и № 7. На всех участках, кроме № 5 и № 8, присутствовали мохообразные, видовой состав которых не изучался.

Содержание гумуса в исследованных образцах почв варьировало (табл. 2). Самое низкое содержание гумуса 0,38 % выявлено на участке № 3 (коренной берег), глубина сезонно-талого слоя которого (60 см) довольно велика для данной местности, а видовой состав представлен 6 видами. Содержание гумуса негативно коррелировало с присутствием на данном участке лаготиса малого ( $R = -0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), смолевки узколистной ( $R = -0,71$ ;  $P = 0,021$ ;  $n = 10$ ) и хвоща полевого ( $R = -0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), что свидетельствует о предпочтении этими видами почв с низким содержанием органического вещества. Максимальный процент содержания гумуса 1,78 и 2,26 % выявлен на участках № 5 и № 6 соответственно, находящихся в полигональной тундре на острове Сордох-Арыта Северный (рис. 1). Оба участка формировали единый кластер с высоким уровнем сходства суммарно по всем показателям почв, но не группировались по видовому составу высших растений (см. рис. 2д и 2е), не имея ни одного общего вида (см. табл. 1), что связано, по-видимому, с различными условиями формирования рельефа местности на данных территориях. Флора на этих участках была типична для полигональной тундры (см. табл. 1). Ранее было показано, что почвы дельты реки Лены характеризуются высоким запасом гумуса. Наибольшая степень гумификации органических веществ выявлена в почвах с острова Самойловский, которые являются относительно молодыми по сравнению с другими участками дельты реки Лены [23].

Участки № 4 и № 8, а также № 9 и № 10 формировали единые кластеры суммарно по всем показателям почв, но не группировались по видовому составу растений, имея по 2 и 1 общему виду соответственно, что, по-видимому, также связано с рельефом местности и условиями его формирования.

По показателю pH варьирование почв было от кислой (участки № 1 и № 3) и слабокислой (участки № 4 и № 7) до нейтральной (см. табл. 2). У участков № 1 и № 3 была максимальная гидролитическая кислотность почвы, которая также негативно коррелировала с  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ( $r = -0,66$ ;  $P = 0,036$ ;  $n = 10$ ) и в большей степени

Виды высших растений, произрастающие на исследуемых участках дельты реки Лены  
Table 1

## Species of higher plants growing in the studied sites of the Lena River Delta

Виды растений	№ участка										Число участков с присутствием вида
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Арктоус альпийский ( <i>Arctous alpina</i> (L.) Nied.)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1
Армерия приморская ( <i>Armeria maritima</i> (Mill.) Willd)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1
Астрагал альпийский ( <i>Astragalus alpinus</i> L.)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	2
Дриада точечная ( <i>Dryas punctata</i> Juz.)	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	7
Горец живородящий ( <i>Bistorta vivipara</i> (L.) A.F. Gray.)	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	6
Горькуша тилезиуса ( <i>Saussurea tilesii</i> Ledeb.)	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	2
Грушанка круглолистная ( <i>Pyrola rotundifolia</i> L.)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
Ива аляскинская ( <i>Salix alaxensis</i> Cov.)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1
Ива шерстистая ( <i>Salix lanata</i> L. s.l.)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	4
Ива сетчатая ( <i>Salix reticulata</i> L.)	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	5
Ива ( <i>Salix</i> sp.)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	1
Камнеломка козлик ( <i>Saxifraga hirculus</i> L.)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Камнеломка Нельсона ( <i>Saxifraga nelsoniana</i> D. Don)	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	3
Копеечник арктический ( <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch.)	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	5
Лаготис малый ( <i>Lagotis minor</i> (Willd.))	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	2
Лиственница Каяндера ( <i>Larix cajanderi</i> Mayr.),	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
Пижма дваждыперистая ( <i>Tanacetum bipinnatum</i> (L.) Sch. Bip.)	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	3
Пушица влагалищная ( <i>Eriophorum vaginatum</i> L.)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Смолевка узколистная ( <i>Silene stenophylla</i> Ledeb.)	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	2
Хвощ полевой ( <i>Equisetum arvense</i> L.)	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	4
Количество видов на участке	4	5	6	7	5	4	7	6	6	4	

Примечание. Присутствие или отсутствие растений на участке обозначено знаком + или – соответственно.

Note. The presence or absence of plants on the site is indicated by a + or – sign, respectively.

## Агрохимические показатели почв исследуемых участков дельты реки Лены

Table 2

## Agrochemical parameters of soils in the studied sites of the Lena River Delta

№ участка	Содержание гумуса, %	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	Гидролитическая кислотность, мг-экв / 100 г	Сумма обменных оснований, мг-экв / 100 г	Насыщенность основаниями, %	Нитраты, мг NO <sub>3</sub> / 100 г
1	1,20	7,77	4,48	1,01	10,02	82	13,3
2	0,90	7,13	6,36	0,21	13,18	98	8,1
3	0,38	6,34	4,30	1,55	4,12	73	2,3
4	0,50	6,80	5,25	0,72	5,84	89	14,5
5	1,78	8,05	6,58	0,11	2,03	95	13,5
6	2,26	7,55	5,89	0,25	1,88	88	26,2
7	1,23	7,56	5,27	0,81	4,04	83	2,9
8	1,13	7,92	6,56	0,22	7,14	97	6,5
9	0,79	8,01	6,12	0,22	0,24	52	4,7
10	0,99	8,36	5,92	0,36	0,30	45	10,5



Рис. 1. Карта расположения исследуемых участков дельты реки Лены.

Места отбора проб указаны желтыми точками и порядковыми номерами

Fig. 1. Location map of the study sites in the Lena River Delta.

Sampling locations are indicated by yellow dots and ordinal numbers

с pH<sub>KCl</sub> ( $r = -0,96$ ;  $P < 0,001$ ;  $n = 10$ ). Это характерно для суглинистых и стратифицированных почв с участков, находящихся на берегу небольших водных объектов северной Якутии [24].

Негативная корреляция с pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> (обнаружена с присутствием на участках камнеломки Нельсона ( $R = -0,65$ ;  $P = 0,044$ ;  $n = 10$ ), смолевки узколистной ( $R = -0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), лаготиса малого ( $R = -0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ) и ивы сетчатой

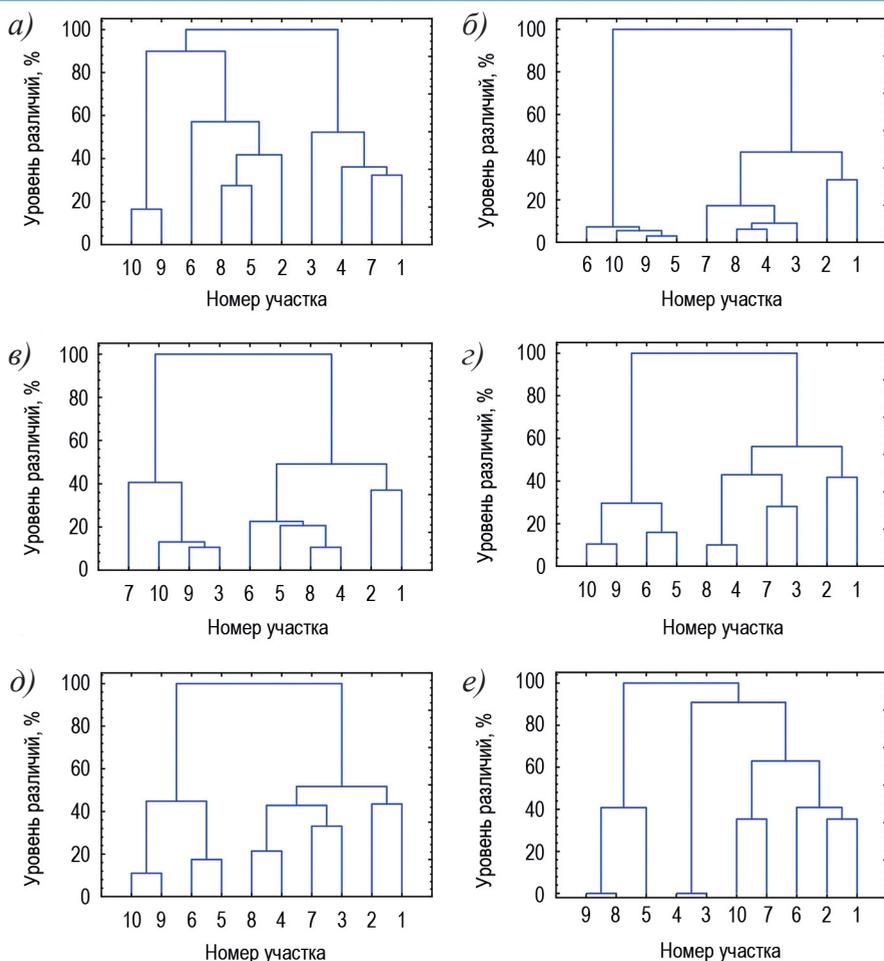


Рис. 2. Кластерные диаграммы, показывающие сходство изучаемых участков дельты реки Лены по параметрам агрохимических показателей (а), содержанию питательных макроэлементов в минерализованных образцах (б), содержанию водорастворимых форм питательных элементов (в), содержанию питательных макроэлементов суммарно в минерализованных образцах и водных вытяжках (г), суммарно по всем показателям почв (д) и по видовому составу растений участков (е)

Fig. 2. Cluster diagrams showing the similarity of the sites being studied in the Lena River Delta according to the parameters of agrochemical indicators (a), the content of macro-nutrients in mineralized samples (b), the content of water-soluble forms of nutrients (v), the content of macro-nutrients total in mineralized samples and water extracts (z), total for all soil parameters (d) and the plant species composition of the sites (e)

( $R = -0,80$ ;  $P = 0,005$ ;  $n = 10$ ). Солевая рН<sub>КCl</sub> негативно коррелировала с присутствием камнеломки Нельсона ( $R = -0,65$ ;  $P = 0,044$ ;  $n = 10$ ) и дриады точечной ( $R = -0,72$ ;  $P = 0,018$ ;  $n = 10$ ). Присутствие двух последних видов растений положительно коррелировало ( $R = +0,65$ ;  $P = 0,043$ ;  $n = 10$ ), а присутствие пижмы дваждыперистой негативно коррелировало ( $R = -0,65$ ;  $P = 0,043$ ;  $n = 10$ ) с гидролитической кислотностью почвы. Информация о корреляции между присутствием изучаемых видов

растений и pH или гидролитической кислотностью почвы весьма ограничена. Однако описано, что виды, для которых нами выявлена отрицательная корреляция с данными показателями, избегают заселения карбонатных почв с нейтральными значениями pH [25, 26].

Величины суммы обменных оснований и содержания нитратов в почве варьировали примерно в 50 и 10 раз в зависимости от участка соответственно (см. табл. 2). Наиболее высокие значения суммы обменных оснований были на участках № 1, № 2 и № 7, а наименьшие — на участках № 6, № 9 и № 10. Насыщенность основаниями образцов почв, отобранных с участков № 1–8, была высокой (82 % ÷ 97 %), за исключением участков № 9 (52 %) и № 10 (45 %). Наиболее высокие значения содержания нитратов были на участках № 1, № 4, № 5 и № 6, а наименьшие — на участках № 3, № 7 и № 9 (см. табл. 2). Однако корреляций между величинами этих параметров и присутствием определенных видов растений не выявлено.

В минерализованных образцах почв обнаружены очень высокие концентрации макроэлементов Ca и Mg (табл. 3), а также Al и Fe (табл. 4). Концентрации этих и других питательных макро- и микроэлементов в несколько раз варьировали в зависимости от участка (см. табл. 3 и 4). Концентрации Mo, Cd, Hg и Pb в образцах были ниже предела обнаружения (данные не представлены). Присутствие на участках горькуши Тилезиуса коррелировало с содержанием Al ( $R = +0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), K ( $R = +0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ) и Mg ( $R = +0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), присутствие смолвки узколистной и лаготиса малого коррелировало с содержанием Mn ( $R = +0,70$ ;  $P = 0,025$ ;  $n = 10$ ), а присутствие ивы сетчатой коррелировало с содержанием Mn ( $R = +0,66$ ;  $P = 0,037$ ;  $n = 10$ ), P ( $R = +0,66$ ;  $P = 0,037$ ;  $n = 10$ ) и S ( $R = +0,73$ ;  $P = 0,016$ ;  $n = 10$ ).

В водных вытяжках обнаружены только Al, Ca, Fe, Mg и Mn (табл. 5), что согласовывалось с высокой концентрацией этих элементов в минерализованных образцах и свидетельствовало об их высокой подвижности в изучаемых почвах. Варьирование образцов по содержанию водорастворимых форм элементов было

Таблица 3

## Содержание питательных макроэлементов в минерализованных образцах почв

Table 3

## Macronutrient content in mineralized soil samples

№ участка	Ca, г/кг	K, мг/кг	Mg, г/кг	P, мг/кг	S, мг/кг
1	3,0 ± 0,3	203 ± 102	2,9 ± 0,2	11,6 ± 1,3	841 ± 18
2	5,9 ± 0,6	459 ± 131	4,1 ± 0,1	9,8 ± 0,9	582 ± 32
3	2,4 ± 0,2	201 ± 117	3,6 ± 0,2	9,3 ± 0,7	349 ± 4
4	2,6 ± 0,3	220 ± 119	3,1 ± 0,1	7,4 ± 0,6	345 ± 13
5	1,1 ± 0,1	121 ± 31	1,7 ± 0,1	4,3 ± 0,3	136 ± 1
6	1,3 ± 0,1	139 ± 55	2,0 ± 0,2	4,7 ± 0,1	164 ± 2
7	1,9 ± 0,3	382 ± 159	3,8 ± 0,4	7,6 ± 0,2	302 ± 5
8	2,6 ± 0,6	219 ± 142	3,5 ± 0,6	7,1 ± 0,2	258 ± 46
9	1,0 ± 0,1	101 ± 26	1,9 ± 0,1	4,5 ± 0,2	122 ± 1
10	0,8 ± 0,1	72 ± 25	1,4 ± 0,1	4,0 ± 0,2	96 ± 10

Примечание. Среднее значение ± ошибка среднего ( $n = 2$ ).

Note. Mean ± errors of the mean ( $n = 2$ ).

**Содержание алюминия и питательных микроэлементов  
в минерализованных образцах почв**

Table 4

**Content of aluminum and micronutrients in mineralized soil samples**

№ участка	Al, г/кг	B, мг/кг	Co, мг/кг	Cu, мг/кг	Fe, г/кг	Mn, мг/кг	Ni, мг/кг	Zn, мг/кг
1	6,1 ± 0,4	42,0 ± 1,5	27,1 ± 0,5	11,9 ± 0,1	54 ± 6,5	144 ± 6	63 ± 2	70,5 ± 0,9
2	6,6 ± 0,3	15,3 ± 0,5	14,2 ± 0,1	15,2 ± 0,1	13 ± 1,5	127 ± 1	40 ± 1	98,0 ± 3,0
3	6,5 ± 0,4	12,0 ± 0,1	13,7 ± 0,3	7,1 ± 0,1	12 ± 1,1	173 ± 10	25 ± 1	42,6 ± 0,3
4	5,5 ± 0,3	10,9 ± 0,2	13,0 ± 0,2	6,8 ± 0,1	11 ± 2,1	168 ± 8	23 ± 1	35,0 ± 0,6
5	2,6 ± 0,1	6,2 ± 0,3	7,0 ± 0,3	3,4 ± 0,1	6 ± 0,3	79 ± 6	12 ± 1	20,4 ± 0,1
6	3,1 ± 0,5	6,7 ± 0,6	8,0 ± 0,8	3,4 ± 0,1	7 ± 0,8	98 ± 9	14 ± 2	23,4 ± 1,6
7	7,0 ± 0,8	16,2 ± 0,7	16,4 ± 1,0	9,2 ± 0,4	15 ± 2,0	113 ± 11	30 ± 2	46,0 ± 1,4
8	5,3 ± 0,7	10,6 ± 1,7	13,1 ± 1,8	6,6 ± 1,0	9 ± 2,0	139 ± 27	22 ± 3	38,2 ± 4,4
9	3,1 ± 0,3	7,1 ± 0,2	7,9 ± 0,5	2,8 ± 0,2	7 ± 0,5	70 ± 7	14 ± 1	21,9 ± 0,6
10	2,4 ± 0,2	5,4 ± 0,4	6,2 ± 0,4	2,1 ± 0,2	6 ± 0,3	63 ± 5	11 ± 1	17,0 ± 0,2

Примечание. Среднее значение ± ошибка среднего ( $n = 2$ ).

Note. Mean ± errors of the mean ( $n = 2$ ).

Таблица 5

**Содержание водорастворимых форм алюминия и питательных элементов  
в почвах исследуемых участков**

Table 5

**Content of water-soluble forms of aluminum and nutrients in the soils of the studied sites**

№ участка	Al, мг/кг	Ca, мг/кг	Fe, мг/кг	Mg, мг/кг	Mn, мг/кг
1	2,9 ± 0,8	53 ± 5	27,2 ± 4,6	14,2 ± 1,2	0,31 ± 0,03
2	4,5 ± 1,6	83 ± 7	10,4 ± 3,2	13,5 ± 1,7	0,17 ± 0,05
3	4,6 ± 0,2	20 ± 3	14,2 ± 0,8	6,5 ± 0,6	0,67 ± 0,07
4	2,9 ± 0,3	43 ± 4	9,9 ± 1,1	19,0 ± 2,0	0,42 ± 0,05
5	1,5 ± 0,3	36 ± 4	7,0 ± 0,1	14,8 ± 1,5	0,25 ± 0,01
6	3,2 ± 0,2	19 ± 2	12,0 ± 0,4	12,7 ± 1,2	0,46 ± 0,05
7	8,3 ± 6,4	22 ± 6	23,7 ± 18,8	12,4 ± 4,9	0,57 ± 0,23
8	3,1 ± 0,7	40 ± 5	11,4 ± 1,3	15,6 ± 1,3	0,39 ± 0,01
9	4,9 ± 0,8	21 ± 1	16,1 ± 1,7	9,8 ± 0,3	0,64 ± 0,07
10	4,6 ± 0,3	14 ± 1	15,3 ± 0,4	6,8 ± 0,4	0,51 ± 0,02

Примечание. Среднее значение ± ошибка среднего ( $n = 2$ ).

Note. Mean ± errors of the mean ( $n = 2$ ).

выражено в меньшей степени, чем по содержанию элементов в минерализованных образцах, и корреляции значений этих показателей с присутствием определенных видов растений не обнаружено.

Высота участка над уровнем моря положительно коррелировала с присутствием дриады точечной ( $r = +0,76$ ;  $P = 0,010$ ;  $n = 10$ ) и ивы сетчатой ( $r = +0,84$ ;  $P = 0,002$ ;  $n = 10$ ), но отрицательно коррелировала с присутствием ивы шерстистой ( $r = -0,71$ ;  $P = 0,020$ ;  $n = 10$ ) и пижмы влагищной ( $r = -0,76$ ;  $P = 0,010$ ;  $n = 10$ ). Корреляций между глубиной сезонно-талого слоя участка и видовым составом растений не об-

наружено. Концентрации Ca, Fe, P, S, Zn, Co, Cu и Ni в минерализованных образцах позитивно коррелировали с высотой участка над уровнем моря ( $r$  варьировал от +0,74 до +0,93;  $P > 0,014$ ;  $n = 10$ ), а концентрации Al, K, Mg, P, S, Zn, Co, Cu и Ni отрицательно коррелировали с глубиной сезонно-талого слоя участка ( $r$  варьировал от -0,69 до -0,78;  $P > 0,027$ ;  $n = 10$ ).

Для выявления взаимосвязей между почвенными параметрами и видовым составом растений на изучаемых участках был проведен кластерный анализ данных. На рис. 2 представлены кластерные диаграммы, показывающие сходство и различие участков по различным группам проведенных анализов почв и их комбинаций (см. рис. 2а, б, в, г и д), а также по видовому составу растений (см. рис. 2е).

По стандартным агрохимическим показателям кластеризация участков была слабо выражена (см. рис. 2а), но по содержанию элементов в минерализованных образцах (см. рис. 2б) и в водных вытяжках (см. рис. 2в) участки группировались в два кластера на уровне 40 %÷60 % различий. Это отразилось на сходной группировке участков по содержанию питательных макроэлементов суммарно в минерализованных образцах и водных вытяжках (см. рис. 2г) и суммарно по всем показателям почв (см. рис. 2д). Такая кластеризация участков была во многом обусловлена высокой корреляцией между содержанием элементов в минерализованных пробах (данные не представлены). Но состав кластеров варьировал в зависимости от выбранной группы параметров.

Кластеризация участков по видовому составу растений была выражена очень слабо, и не удалось выявить кластеры с высоким или средним уровнем сходства (см. рис. 2е). Соответственно, не удалось обнаружить сходства кластерных диаграмм, построенных по почвенным параметрам и по видовому составу растений. Максимальным сходством обладали участки № 3 и № 4, а также участки № 8 и № 9 (см. рис. 2е). Однако это сходство не сохранялось при группировке по почвенным показателям (см. рис. 2а, б, в, г и д).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты показали, что видовой состав сосудистых растений слабо коррелирует со свойствами почв ключевых участков. В большей степени такие взаимосвязи проявляются для агрохимических показателей почвы. Например, лаготис малый, смолевка узколистная и хвощ полевой предпочитают участки с низким содержанием органического вещества в почве. Камнеломка Нельсона произрастала в основном на участках с низкими значениями рН и высокой гидролитической кислотностью почвы. В меньшей степени взаимосвязи видového состава растений проявляются с содержанием питательных макроэлементов (K, Mg, P и S) в изучаемых почвах. В этом отношении можно отметить горькушу Тилезиуса, присутствие которой на участках связано с высоким содержанием в почве этих макроэлементов. Можно выделить виды, растущие практически повсеместно на исследуемых территориях и слабо зависящие от характеристик почв, например: дриада точечная и горец живородящий. В противовес этим видам можно выделить пушицу влагилищную, которая обнаружена только на участке № 1 с самым богатым элементным составом, и армерию приморскую, найденную только на участке № 10 с самым бедным элементным составом по всем изучаемым показателям. Однако выявленные особенности проявляются в виде тенденций, и четких закономерностей взаимосвязи растительного покрова и показателей почв не прослеживается. Это наглядно продемонстрировано результа-

тами кластерного анализа полученных данных. Так, участки № 4 и № 8, № 9 и № 10, группировавшиеся в единые кластеры суммарно по всем показателям почв, имели только 2 и 1 общих вида растения соответственно, тогда как участки № 5 и № 6 — ни одного общего вида. Возможно, что слабость выявленных взаимосвязей, часто проявляющихся в виде тенденций, связана с ограниченным количеством изучаемых участков. Существенное увеличение выборки участков, а также включение в анализ дополнительных геоботанических показателей (проективное покрытие, индексы биоразнообразия и другие) необходимы для получения ответов на поставленные вопросы. Проведение таких более обширных и детальных исследований поможет оценить важность методов фитоиндикации для прогнозирования свойств почв по составу растительного сообщества.

**Конфликт интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Финансирование.** Работа проведена при поддержке Российского научного фонда (грант № 20-76-10042).

**Благодарности.** Выражаем благодарность руководству и координаторам экспедиции «Лена 2021» за организацию и проведение экспедиции в район дельты реки Лены. Искренне благодарим Сергея Александровича Правкина (ААНИИ) за помощь в сборе и транспортировке семян бобовых культур. Выражаем благодарность коллективу научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» и лично Федору Виссанионовичу Селяхову за предоставленный транспорт.

**Conflict of interest.** The authors have no competing interests.

**Funding.** The work was supported by the Russian Science Foundation (grant 20-76-10042).

**Acknowledgments.** We express our gratitude to the management and coordinators of the Expedition “Lena 2021” for organizing and conducting the expedition to the Lena River Delta. We are greatly thankful to Dr Sergey A. Pravkin (AARI) for assistance in collecting and transporting legume seeds. We are grateful to the staff of the Research Station Samoylov Island and to Fedor V. Selyakhov personally for the transport provided.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики: принципы и методы изучения / Под. ред. Л. Ю. Буданцева, Б.А. Юрцева. СПб.: Ботанический институт РАН, 1995. 185 с.
2. Прокопьева К.О., Конюшкова М. В., Новикова Н. М., Соболев И.В. Цифровая фитоиндикация засоления почв в сухой степи (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 2. С. 68–81. doi: 10.24411/1993-3916-2021-10152.
3. Бузук Г.Н. Экологические шкалы ЛГ Раменского: новые возможности // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2018. № 1 (13). С. 37–43. doi: 10.22281/2307-4353-2018-1-37-43.
4. Корженевский В.В., Квитницкая А.А. Фитоиндикация рельефообразования и опыт ее применения // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2010. № 100. С. 5–28.
5. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова: Избранные работы. Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1971. 335 с.
6. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 196 с.
7. Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника. М.: МГУ, 1988. 168 с.

8. Zverev A.A. Methodological aspects of using indicator values in biodiversity analysis // Contemporary Problems of Ecology. 2020. V. 13. № 4. P. 321–332. doi.org/10.1134/S1995425520040125.
9. Zonneveld I.S. Principles of bio-indication // Environmental Monitoring and Assessment. 1983. V. 3. P. 207–217. doi: 10.1007/978-94-009-6322-1\_2.
10. Diekmann M. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology — a review // Basic and Applied Ecology. 2003. V. 4. P. 493–506. doi: 10.1078/1439-1791-00185.
11. Дорохина З.П. Фитоиндикация процессов деградации почв: основные термины и определения // Вестник науки. 2018. Т. 3. № 8 (8). С. 229–237.
12. Иванова Е.Н. Некоторые закономерности строения почвенного покрова в тундре и лесотундре побережья Обской губы // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 49–116.
13. Ермохина К.А. Фитоиндикация стадий развеивания песчаных отложений водоразделов в типичных тундрах Ямала // Проблемы региональной экологии. 2008. № 6. С. 78–84.
14. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
15. Polyakov V., Orlova K., Abakumov E. Soils of the Lena River Delta, Yakutia, Russia: Diversity, characteristics and humic acids molecular composition // Polarforschung. 2018. V. 88. P. 135–150. doi: 10.2312/polarforschung.88.2.135.
16. Polyakov V., Orlova K., Abakumov E. Landscape-dynamic aspects of soil formation in the Lena River Delta // Czech Polar Reports. 2018. V. 8. № 2. P. 260–274. doi.org/10.5817/CPR2018-2-22.
17. Raschke E.A., Savelieva L.A. Subrecent spore-pollen spectra and modern vegetation from the Lena River Delta, Russian Arctic // Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. P. 395–410. doi.org/10.1134/S1995425517040084.
18. Лащинский Н.Н. Сукцессионные системы растительного покрова различных геоморфологических уровней в дельте р. Лены // Экология и география растений и растительных сообществ: Материалы IV Международной научной конференции, Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 года. Екатеринбург: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Гуманитарный университет», 2018. С. 497–500.
19. Исаев А.П., Габышева Л.П., Михалева Л.Г., Соломонов Н.Г. Растительные сообщества острова Тит-ары (Восточная Сибирь) // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 527.
20. Габышева Л.П. Жизненные формы лиственницы Каяндера у северной границы ее распространения в Якутии // Наука и образование. 2017. № 1 (85). С. 104–109.
21. Исаев П., Габышева Л.П., Михалева Л.Г. Эколого-географические особенности лесного массива на острове Тит-Ары (дельта реки Лены) // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 53–61.
22. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
23. Поляков В.И., Абакумов Е.В. Особенности гумусообразования в почвах дельты реки Лены // Почвы и окружающая среда. 2021. Т. 4. № 4. doi: 10.31251/pos.v4i4.163.
24. Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В. Почвы северной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 304 с.
25. Кожевников Ю.П., Журбенко М.П., Афонина О.М. Растительный покров островов Свердруп и Тройной, Карское море // Арктические тундры Таймыра и островов Карского моря. Т. 2. М.: ИПЭЭ РАН, 1994. С. 121–143.
26. Поспелов И.Н., Поспелова Е.Б. Флора сосудистых растений объекта всемирного наследия «Плато Путорана» и его буферной зоны (заповедник «Путоранский» и его охранный зона). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2021. 206 с.

## REFERENCES

1. *Antropogennaja dinamika rastitel'nogo pokrova Arktiki i Subarktiki: principy i metody izuchenija*. Anthropogenic dynamics of the Arctic and Subarctic plant cover: principles and methods of study. Edited by B.A. Jurcev. St. Petersburg: Komarov Botanical Institute, 1995: 185 p. [In Russian].
2. *Prokop'eva K.O., Konjushkova M.V., Novikova N.M., Sobolev I.V.* Digital Phytoindication of soil salinity in dry steppes (Republic of Kalmykia). *Aridnye jekosistemy*. Arid Ecosystems. 2021, 27 (2): 68–81. doi: 10.24411/1993-3916-2021-10152. [In Russian].
3. *Buzuk G.N.* Ecological scales of L.G. Ramensky: new features. *Bjulleten' Brjanskogo otdelenija RBO*. Bulletin of Bryansk department of RBS. 2018, 1 (13): 37–43. doi: 10.22281/2307-4353-2018-1-37-43. [In Russian].
4. *Korzhenevskij V.V., Kvitnickaja A.A.* Phytoindication of relief formation and experience of its application. *Bjulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2010, 100: 5–28. [In Russian].
5. *Ramenskij L.G.* *Problemy i metody izuchenija rastitel'nogo pokrova: Izbrannye raboty*. Problems and methods of studying the vegetation cover. Selected works. Leningrad: Nauka, 1971: 335 p. [In Russian].
6. *Cyganov D.N.* *Fitoindikacija jekologicheskikh rezhimov v podzone hvojno-shirokolistvennyh lesov*. Phytoindication of ecological regimes in subzone of coniferous-deciduous forests. Moscow: Nauka, 1983: 196 p. [In Russian].
7. *Viktorov S.V., Remezova G.L.* *Indikacionnaja geobotanika*. Indicative Geobotany. Moscow: Moscow State University, 1988: 168 p. [In Russian].
8. *Zverev A.A.* Methodological aspects of using indicator values in biodiversity analysis. *Contemporary Problems of Ecology*. 2020, 13 (4): 321–332. doi.org/10.1134/S1995425520040125.
9. *Zonneveld I.S.* Principles of bio-indication. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1983, 3: 207–217. doi: 10.1007/978-94-009-6322-1\_2.
10. *Diekmann M.* Species indicator values as an important tool in applied plant ecology — a review. *Basic and Applied Ecology*. 2003, 4: 493–506. doi: 10.1078/1439-1791-00185.
11. *Dorohina Z.P.* Phytoindication of soil degradation processes: basic terms and definitions. *Vestnik nauki*. Science Bulletin. 2018, 8 (8): 229–237. [In Russian].
12. *Ivanova E.N.* Some regularities of the soil cover in the tundra and forest tundra of the Ob Bay coast. *O pochvah Urala, Zapadnoj i Central'noj Sibiri*. About Soils of the Urals, Western and Central Siberia. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1962: 49–116. [In Russian].
13. *Ermohina K.A.* Phytoindication of stages of dispersal of sandy sediments of watersheds in typical tundras of Yamal. *Problemy regional'noj jekologii*. Problems of regional ecology. 2008, 6: 78–84. [In Russian].
14. *Bol'shijanov D.Ju., Makarov A.S., Shnajder V., Shtof G.* *Proishozhdenie i razvitie del'ty reki Leny*. Origin and development of the Lena River Delta. St. Petersburg: Arctic and Antarctic Research Institute, 2013: 268 p. [In Russian].
15. *Polyakov V., Orlova K., Abakumov E.* Soils of the Lena River Delta, Yakutia, Russia: Diversity, characteristics and humic acids molecular composition. *Polarforschung*. 2018, 88: 135–150. doi: 10.2312/polarforschung.88.2.135.
16. *Polyakov V., Orlova K., Abakumov E.* Landscape-dynamic aspects of soil formation in the Lena River Delta. *Czech Polar Reports*. 2018, 8 (2): 260–274. doi.org/10.5817/CPR2018-2-22.
17. *Raschke E.A., Savelieva L.A.* Subrecent spore-pollen spectra and modern vegetation from the Lena River Delta, Russian Arctic. *Contemporary Problems of Ecology*. 2017, 10: 395–410. doi.org/10.1134/S1995425517040084

18. *Lashhinskij N.N.* Successional vegetation systems on different geomorphological levels in Lena River Delta. *Jekologija i geografija rastenij i rastitel'nyh soobshhestv: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Ecology and geography of plants and plant communities: IV International Scientific Conference. Ekaterinburg, 2018. P. 497–500. [In Russian].
19. *Isaev A.P., Gabysheva L.P., Mihaleva L.G., Solomonov N.G.* Diversity of plant communities of Tit-Ary Islands (Eastern Siberia). *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. Modern Problems of Science and Education. 2016, 6: 527–536. [In Russian].
20. *Gabyшева L.P.* Life Forms of *Larix Cajanderi* stems near Northern Tree Line in Yakutia. *Nauka i obrazovanie*. Science and Education. 2017, 1 (85): 104–109. [In Russian].
21. *Isaev P., Gabysheva L.P., Mihaleva L.G.* Ecologo-geographical characteristics of the forest range in Tit-Ary Island (Delta of the Lena River). *Geografija i prirodnye resursy*. Geography and Natural Resources. 2016, 2: 53–61. [In Russian].
22. *Arinushkina E. V.* *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv*. A guide in chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Publishers, 1970: 487 p. [In Russian].
23. *Poljakov V.I., Abakumov E.V.* Humus formation in soils of the Lena River Delta. *Pochvy i okruzhajushhaja sreda*. The Journal of Soils and Environment. 2021, 4 (4): 1–16. doi: 10.31251/pos.v4i4.163. [In Russian].
24. *Elovskaya L.G., Petrova E.I., Teterina L.V.* *Pochvy severnoj Jakutii*. Soils of northern Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1979: 304 p. [In Russian].
25. *Kozhevnikov Yu.P., Zhurbenko M.P., Afonina O.M.* Vegetation cover of Sverdrup and Troinoy islands, Kara Sea. *Arkticheskie tundry Taimyra i ostrovov Karskogo moria*. Arctic tundras of Taimyr and Kara Sea islands. V. 2. Moscow: IPEE RAS, 1994: 121–143. [In Russian].
26. *Pospelov I.N., Pospelova E.B.* *Flora sosudistykh rastenij ob'ekta vseirnogo nasledija «Plato Putorana» i ego bufernoi zony (zapovednik «Putoranskii» i ego okhrannaia zona)*. Flora of vascular plants of the world heritage site “Putorana Plateau” and its buffer zone (reserve “Putoransky” and its buffer zone). Moscow: Association of scientific ed. KMK, 2021: 206 p. [In Russian].