

Использование дистанционных методов при геоботаническом районировании восточно-европейских тундр

И.А. Лавриненко

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,
197376, Санкт-Петербург, Профессора Попова, 2,
e-mail: lavrinenkoi@mail.ru*

С использованием дистанционных методов и картографических материалов на территории восточно-европейских тундр выделено 132 геоботанических района, относящихся к 18 геоботаническим округам, 4 подзональным полосам и 2 подпровинциям. Между геоботаническими районами выявлены значительные различия по типологическому разнообразию растительного покрова. Распределение максимальных значений NDVI соответствовало предложенной схеме геоботанического районирования. Средние значения надземной зелёной фитомассы для районов изменялись от 135 до 450 г/м² при коэффициенте вариации от 0,8 до 20 %.

Ключевые слова: геоботаническое районирование, дистанционное зондирование, восточно-европейские тундры, NDVI, фитомасса.

Введение

При анализе дистанционных материалов земной поверхности, прежде всего равнинных участков, на первый план выступает растительный покров, который отражает хорологическую неоднородность ландшафта. Наличие тех или иных границ в распределении растительного покрова на уровне макро- и мезохор, регистрируемых на снимках, свидетельствует о степени ландшафтно-экологической неоднородности этих хорологических единиц.

При геоботаническом районировании проводится объединение разнородных фитоценологических типов растительного покрова, которые в совокупности представляют собой единое целое на определенном участке земной поверхности — фитоценохору (Сочава, 1979). Фитоценохоры любого уровня, как реально существующие территориальные единицы, регистрируются на материалах дистанционного зондирования и при проведении полевых исследований. Они представляют собой целостные территориальные сочетания синтаксонов растительности, которые сложились исторически на данной территории в конкретных климатических и ландшафтно-экологических условиях.

Несмотря на наличие для территории восточно-европейских тундр мелкомасштабной схемы районирования до уровня геоботанического округов (Геоботаническое районирование..., 1989), в настоящее время существует значительная потребность в более детальном районировании и крупномасштабном картографировании. В последние десятилетия этот регион испытывает значительную антропогенную нагрузку, обусловленную большим количеством разрабатываемых месторождений углеводородного сырья и перевыпасом оленевых пастбищ, следствием чего является масштабное нарушение природных экосистем и трансформация растительного покрова.

Выполнение геоботанического районирования восточно-европейских тундр до уровня районов необходимо для оптимизации природопользования с учётом локальных особенностей территории, сохранения ее ресурсного потенциала и охраны тундровых экосистем. Проведение районирования позволяет более дифференцированно оценивать территорию по показателям таксономического и синтаксономического биоразнообразия, уязвимости и устойчивости его отдельных компонентов, проводить границы охраняемых территорий с учётом природных ландшафтно-экологических рубежей. С практической точки зрения, именно районы представляют собой наиболее однородную систему землепользования, и соразмерны масштабу современного антропогенного воздействия, которое оказывается, в частности, на разные участки

восточно-европейских тундр (сезонные оленьи пастбища, осваиваемые месторождения углеводородного сырья, других полезных ископаемых, рекреационные зоны и т. п.).

Объекты и методы

П.Д. Ярошенко (1953) отмечал, что геоботанический район, как правило, совпадает в своих границах с ландшафтным (физико-географическим). По его мнению, различия между ними состоят не в очертаниях районов, а в их характеристиках. Если в первом случае районы характеризуются преимущественно по растительности, хотя не могут не приниматься во внимание и черты геоморфологии, климата и почв, то во втором — в равной мере по всем этим факторам.

В основу геоботанического районирования восточно-европейских тундр нами было положено ландшафтное районирование Ненецкого автономного округа (НАО), приведенное А.Г. Исаченко с соавт. в работе (Атлас Архангельской..., 1976).

Уточнение границ существующих и выделение новых геоботанических районов выполняли по материалам спутниковых снимков высокого разрешения (Landsat TM5, Aster) и существующих геоботанических карт (Нечерноземная зона..., 1975; Атлас Архангельской..., 1976; Карта растительности..., 1979; Атлас Арктики, 1985). При уточнении и выделении границ геоботанических районов оконтуривали макрофитохоры, максимально однородные по окраске в разных комбинациях спектральных каналов, текстуре и рисунку распределения в их пределах макро- и мезофитохор, в значительной степени совпадающие с границами соответствующих типологических единиц (или их групп) растительности на геоботанических картах, приуроченных к границам районов.

Для характеристики растительного покрова районов использовали содержание легенд к картам, имеющиеся публикации (Андреев, 1933, 1935; Грибова, 1977; Ребристая, 1977; Растительность европейской..., 1980 и др.) и результаты собственных исследований за период с 1992 по 2011 г.

При оценке распределения по территории максимальных значений нормализованного вегетационного индекса NDVI, прямо коррелирующего с показателями надземной зеленой фитомассы (Walker et al., 2003; Raynolds et al., 2012), использовали GRID-файл со значениями индекса для ячеек 1×1 км, подготовленный и предоставленный в свободный доступ в рамках международного проекта Circumpolar Arctic Vegetation Map (CAVM Team, 2003).

Для оценки надземной зелёной фитомассы в пределах района использовали формулу, предложенную в работе (Raynolds et al., 2012), связывающую значения фитомассы с показателем NDVI: $y = 0,3826 \ln x - 1,6492$, где y — значение фитомассы ($\text{г}/\text{м}^2$); x — показатель NDVI для каждой ячейки. Изменчивость фитомассы в пределах района оценивали по коэффициенту вариации: $CV (\%) = \sigma/Y \times 100$, где σ — стандартное отклонение; Y — среднее значение показателя фитомассы для геоботанического района ($\text{г}/\text{м}^2$).

Показатель типологического разнообразия растительного покрова районов (D) рассчитывали по отношению числа типологических единиц растительности, представленных на геоботанической карте (Нечерноземная зона..., 1975) в пределах района, к его общей площади: $D = n/S \times 100$, где n — число типологических единиц растительности; S — площадь района (км^2); 100 — коэффициент, введённый во избежание операций с очень малыми величинами.

Районирование восточно-европейских тундр

На территории восточно-европейских тундр в пределах НАО нами выделено 132 геоботанических района, относящихся к 18 округам, 4 подзональным полосам и 2 подпровинциям (рис. 1):

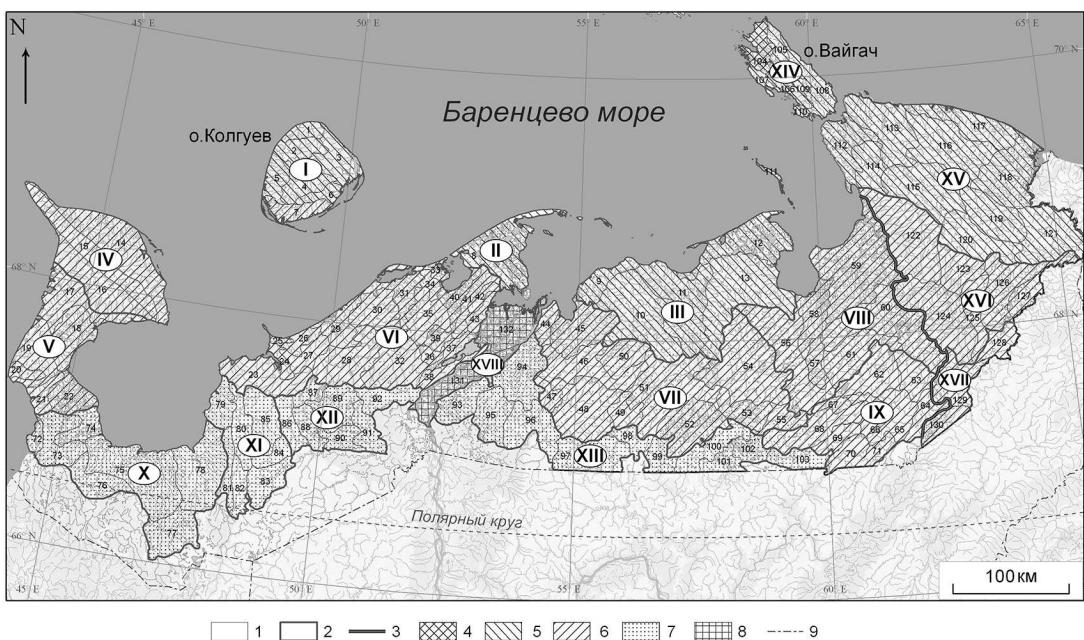


Рис. 1. Геоботаническое районирование восточно-европейских тундр: 1 — геоботанические районы (1–132); 2 — геоботанические округа (I–XVIII, см. в тексте); 3 — граница между Восточноевропейской (на западе) и Предуральско-Уральской (на востоке) подпровинциями Европейско-Западносибирской тундровой провинции; подзональное деление: 4 — арктические тундры; 5 — типичные тундры; 6 — южные тундры; 7 — северная лесотундра; 8 — субарктическая пойма; 9 — административные границы субъектов РФ

Восточноевропейская подпровинция

Подзона типичных тундр

I.	Округ Колгуевский, районы	1–7
II.	Малоземельский приморский	8
III.	Большеземельский приморский	9–13
	Подзона южных тундр	
IV.	Канин кряж (Канин Камень)	14–16
V.	Среднеканинский	17–22
VI.	Малоземельский	23–43
VII.	Западно-Большеземельский	44–55
VIII.	Вашуткинский	56–61
IX.	Адзьвинский	62–71
	Полоса северной лесотундры	
X.	Конушко-Пешенский	72–78
XI.	Северотиманский	79–85
XII.	Индиго-Печорский	86–92
XIII.	Печорско-Хаяхский	93–103
	Субарктическая пойма	
XVIII.	Нижнепечорский	131–132

Предуральско-Уральская подпровинция

Подзона типичных тундр

XIV.	Вайгачский	104–111
XV.	Пай-Хойский	112–121
	Подзона южных тундр	
XVI.	Коротаихо-Приуральский	122–127
XVII.	Воркутинский	128–130

Каждый из районов подробно охарактеризован по преобладающим типам растительности, ландшафтам, почвенному покрову и геоморфологическим особенностям на основе содержания соответствующих тематических карт и публикаций (Лавриненко, 2012).

Сравнительный анализ типологического разнообразия растительного покрова выделенных геоботанических районов свидетельствует о значительной дифференциации территории восточно-европейских тундр по этому показателю (рис. 2). Максимальным разнообразием растительного покрова характеризовались южнотундровые малоземельские (24. Усть-Индигский; 25. Святоносский) и большеземельские (69. Черпаю-Нерутынский и 70. Нижнеадзьвинский) районы, в пределах которых отмечено наибольшее число типов растительности на единицу площади, минимальным — северотундровые районы о-ва Вайгач (106. Талата-Юнояхский; 108. Сармик-Лангаседский).

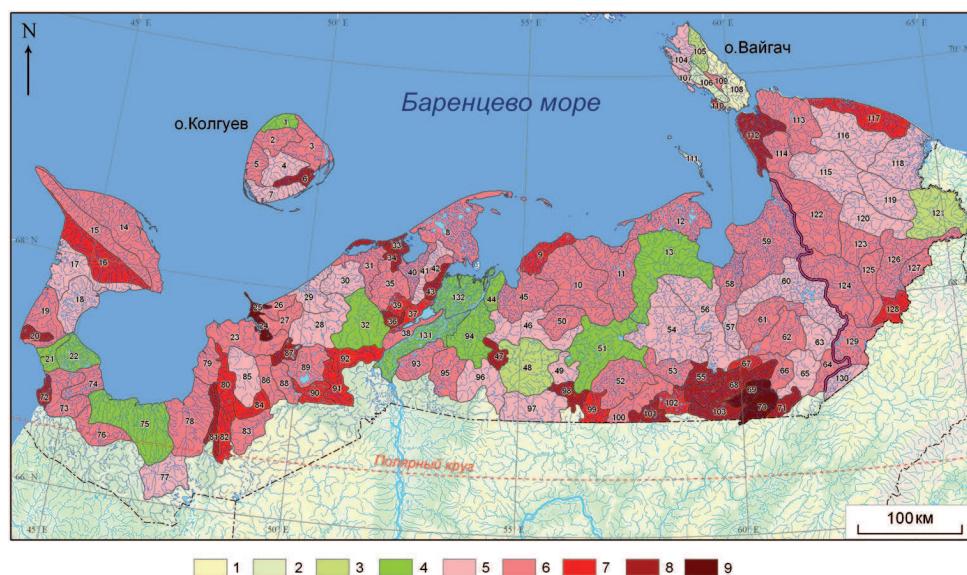


Рис. 2. Типологическое разнообразие растительного покрова геоботанических районов восточно-европейских тундр. Показатель типологического разнообразия (D): 1. $\leq 0,2$; 2. $>0,2 \dots 0,4$; 3. $>0,4 \dots 0,6$; 4. $>0,6 \dots 0,8$; 5. $0,8 \dots 1,0$; 6. $>1,0 \dots 1,5$; 7. $>1,5 \dots 2,0$; 8. $>2,0 \dots 2,5$; 9. $>2,5$.
Остальные обозначения те же, что на рис. 1

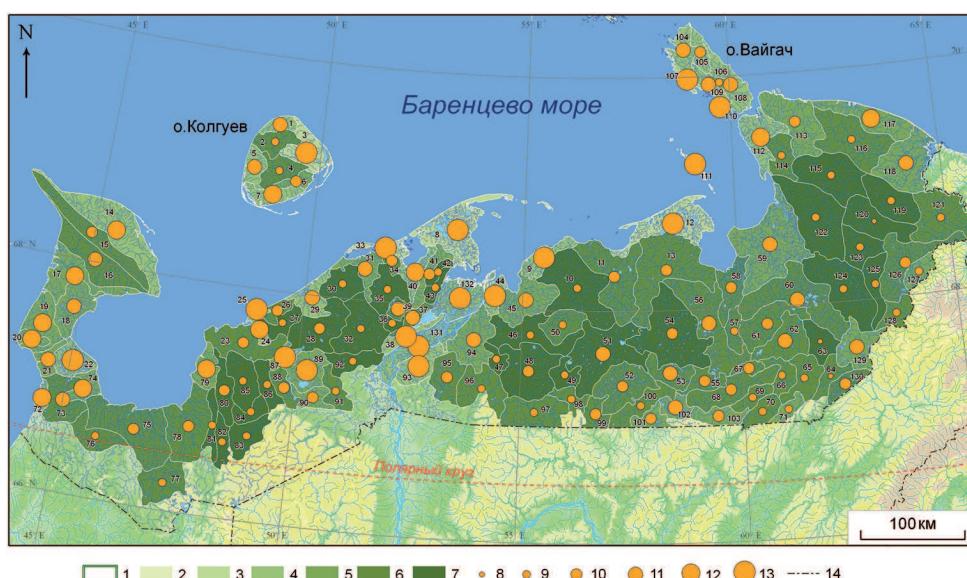


Рис. 3. Максимальное значение надземной зеленой фитомассы и его коэффициент вариации для геоботанических районов восточно-европейских тундр: 1 — геоботанические районы (1–132); надземная фитомасса (g/m^2): 2. <135 ; 3. $135 \dots 200$; 4. $201 \dots 300$; 5. $301 \dots 350$; 6. $351 \dots 400$; 7. >400 ; коэффициент вариации (%): 8. <1 ; 9. $1 \dots 3$; 10. $>3 \dots 5$; 11. $>5 \dots 8$; 12. $>8 \dots 10$; 13. $>10 \dots 20$; 14 — административные границы субъектов РФ

Мы рассматриваем результаты по оценке типологического разнообразия в качестве предварительных, основанных на анализе материалов мелкомасштабной геоботанической карты (Нечерноземная зона..., 1975). Для получения объективной оценки степени разнообразия растительного покрова для отдельных геоботанических районов, необходимо выполнение средне- и крупномасштабного картографирования растительного покрова непосредственно в пределах этих районов с последующим расчётом показателя типологического разнообразия. Причём, на наш взгляд, именно геоботанический район является той областью экстраполяции данных, полученных на ключевых участках, в пределах которой при подготовке крупномасштабной геоботанической карты с применением управляемой классификации можно получить наиболее достоверные результаты.

Анализ распределения NDVI по территории восточно-европейских тундр показал соответствие максимальных значений этого показателя и предложенного нами варианта геоботанического районирования. Большинство границ выделенных районов совпадает с градациями в распределении максимальных значений вегетационного индекса, что позволяет рассматривать геоботанические районы в качестве территориальных выделов, например, при планировании распределения оленевых пастбищ разных сезонов выпаса. Наибольшие значения NDVI ($>0,65$) были характерны для районов Северного Тимана (80. Волонга-Кумушкинский; 81. Безмошицкий; 82. Волоковский и 83. Верхнесульский), приуроченных к полосе северной лесотунды. Минимальными значениями NDVI ($<0,50$) отличались районы арктических и типичных тундр о-ва Вайгач (104. Болванский островной; 105. Талата-Карский; 106. Талата-Юнояжский; 107. Усть-Сурияжский), севера Малоземельской (8. Русский Заворот) и Большеземельской (12. Паханско-Хайпудырский) тундр.

Средние значения надземной зелёной фитомассы для геоботанических районов, которые были рассчитаны на основе максимальных значений индекса NDVI, изменились от 135 до 450 г/м² при коэффициенте вариации от 0,8 до 20 % (рис. 3).

Амплитуда варьирования показателя фитомассы в пределах района в значительной степени определяется ландшафтно-экологической гетерогенностью территории и типологическим разнообразием растительности. С точки зрения практического применения, районы с высокими значениями зелёной фитомассы в сочетании с минимальным варьированием этого показателя представляют наибольший интерес в качестве летних оленевых пастбищ. Низкие значения зелёной фитомассы могут свидетельствовать о преобладании в пределах района сообществ с доминированием в напочвенном покрове лишайников, поскольку они характеризуются низкими показателями NDVI. Вместе с тем, лишайниковые тунды широко используются в качестве зимних, ранневесенних и позднеосенних оленевых пастбищ.

На примере пяти геоботанических районов мы провели сравнительный анализ распределения частот встречаемости значений NDVI и абсолютных высотных отметок в пределах районов для оценки степени их неоднородности по этим показателям, которые в значительной степени отражают хозяйствственно-биологические и геоморфологические особенности территории.

Лишайниковые пастбища, представленные на рассматриваемой территории лишайниками, кустарничково-лишайниками и кустарничково-мохово-лишайниками тундрами, характеризуются значением вегетационного индекса 0,20...0,35, смешанные (плоскобугристые комплексы, кустарничково-моховые тунды, а также мезофитохоры с различными комбинациями лишайниковых, моховых и кустарничковых тундр) — 0,35...0,55, зелёные (кустарниковые (ивняковые, ерниковые) и луговые сообщества) — более 0,5. Анализ частот распределения максимальных значений NDVI свидетельствует об отчетливом преобладании в районах 1 и 3 растительных сообществ, характерных для лишайниковых и смешанных оленевых пастбищ, в районах 4 и 5 — пастбищ смешанного типа, в районе 2 — зелёных пастбищ (рис. 4).

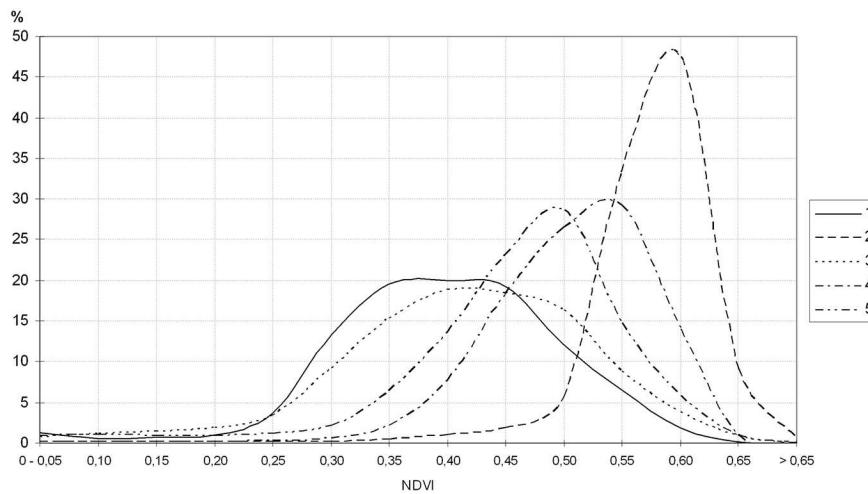


Рис. 4. Распределение частот встречаемости значений показателя NDVI

в пяти геоботанических районах (1–5) восточно-европейских тундр.

Районы: 1. Среднеколвинский — 52; 2. Верхнелайский — 49; 3. Колависский — 55; 4. Сандивейский — 100; 5. Лызатынский — 102

Таким образом, оценка частот встречаемости в пределах района значений NDVI, полученная с использованием дистанционных методов, позволяет отнести его к той или иной группе сезонных оленевых пастбищ в общей схеме пастбищеоборота для оленеводческих хозяйств.

Оценка распределения в пределах геоботанических районов абсолютных высотных отметок отражает геоморфологические особенности территории, степень ее неоднородности, даёт представление о максимальных, минимальных и преобладающих высотах. Из рис. 5 видно, что каждый район характеризуется своей картиной распределения высотных отметок по территории. Так, наименьшими высотами (от 30 до 100 м над уровнем моря), наряду с минимальной амплитудой их варьирования, характеризуется район 5. Район 2, представленный преимущественно высокопродуктивными кустарниково-лиственничными сообществами, отличается наибольшей амплитудой высотных отметок — от 70 до 200 м над уровнем моря с преобладанием высот 120...130 м. Районы 1, 3 и 4 характеризуются колебанием высотных отметок от 40 до 130 м над уровнем моря с преобладающими высотами 70...90 м.

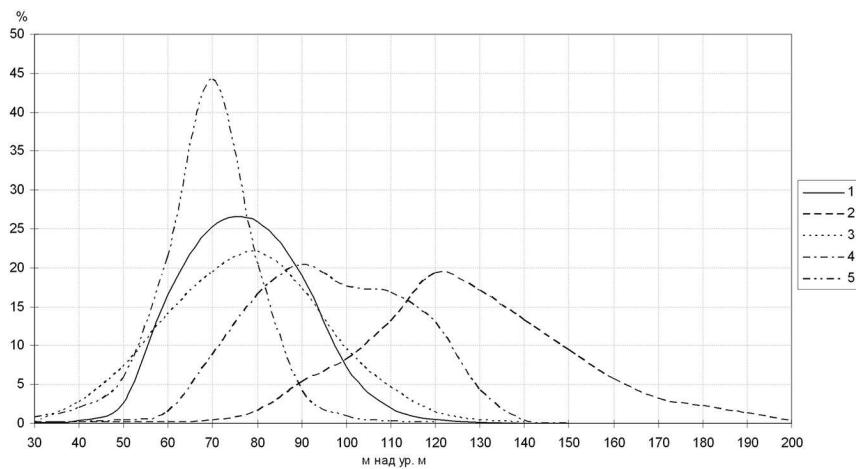


Рис. 5. Распределение частот встречаемости абсолютных высотных отметок в пяти геоботанических районах (1–5) восточно-европейских тундр.

Районы: 1. Среднеколвинский — 52; 2. Верхнелайский — 49; 3. Колависский — 55; 4. Сандивейский — 100; 5. Лызатынский — 102

По-видимому, распределение высотных отметок в пределах района можно рассматривать в качестве достаточно стабильной, по сравнению с NDVI, характеристикой (сигнатурой) геоботанического района, которая не будет изменяться в обозримом будущем. Изучение

в дальнейшем приуроченности синтаксономических групп растительности к тем или иным геоморфологическим уровням, определяющим ландшафтно-экологическую дифференциацию сообществ, позволит получить представление об особенностях структуры и распределения растительного покрова в пределах районов.

Заключение

На территории восточно-европейских тундр в пределах НАО с применением дистанционных методов выделено 132 геоботанических района, относящихся к 18 округам, 4 подзональным полосам и 2 подпровинциям. Сравнительный анализ типологического разнообразия растительного покрова районов свидетельствовал о значительных различиях между ними. Распределение максимальных значений NDVI соответствовало предложенной схеме геоботанического районирования. Средние значения надземной зелёной фитомассы для районов изменились от 135 до 450 г/м² при коэффициенте вариации от 0,8 до 20 %.

Распределение абсолютных высотных отметок в пределах геоботанических районов отражает геоморфологические особенности территории и может рассматриваться в качестве их стабильной характеристики.

Полученные результаты позволяют использовать предложенную сетку геоботанического районирования территории восточно-европейских тундр для проведения фундаментальных исследований и при решении практических задач. Так, например, анализ состава и структуры растительного покрова восточно-европейских тундр в рамках деления на районы позволяет оценивать таксономическое и синтаксономическое разнообразие с учётом геоморфологической и ландшафтно-экологической дифференциации территории, а анализ распределения частот встречаемости максимальных значений NDVI позволяет отнести тот или иной район к определённой группе сезонных пастбищ в схеме пастбищеоборота, используемой для оленеводческих хозяйств. При выполнении геоботанического картографирования именно район является той областью экстраполяции данных, полученных на ключевых участках, в пределах которой можно получить наиболее достоверные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-04-01114-а) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Литература

1. *Андреев В.Н.* Кормовые ресурсы оленеводства в западной части Большеземельской тундры // Олени пастбища Северного края. Л.: Изд-во АН СССР, 1933. Вып. 2. С. 119–184.
2. *Андреев В.Н.* Растительность и природные районы восточной части Большеземельской тундры // Тр. Полярной комиссии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1935. Вып. 22. С. 5–97.
3. Атлас Арктики. М.: Гл. упр. геодезии и картографии при СМ СССР, 1985. 204 с.
4. Атлас Архангельской области. М.: ГУГК СССР, 1976. 176 с.
5. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.
6. *Грибова С.А.* Широтная дифференциация растительного покрова тундр восточно-европейской равнины // Проблемы экологии, геоботаники, ботанической географии и флористики. Л.: Наука, 1977. С. 37–46.
7. Карта растительности Европейской части СССР. Масштаб 1:2 500 000. М.: ГУГК, 1979.
8. *Лавриненко И.А.* Геоботаническое районирование Большеземельской тундры и прилегающих территорий // Геоботаническое картографирование. СПб.: БИН РАН, 2012. (В печати.)
9. Нечерноземная зона РСФСР. Геоботаническая карта. Масштаб 1:1 500 000. М.: АН СССР, Ботанический институт им. В.Л. Комарова, 1975.

10. Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 429 с.
11. *Ребристая О.В.* Флора востока Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1977. 334 с.
12. *Сочава В.Б.* Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.
13. *Ярошенко П.Д.* Основы учения о растительном покрове. М.: Географгиз, 1953. 354 с.
14. CAVM Team. Circumpolar Arctic Vegetation Map. Scale 1:7,500,000. Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) Map N. 1. U.S. Fish and Wildlife Service, Anchorage, Alaska. 2003. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://data.arcticatlas.org/geodata/cp/cavm>.
15. *Raynolds M.K., Walker D.A., Epstein H.E., Pinzon J.E., Tucker C.J.* A new estimate of tundra-biome phytomass from trans-Arctic field data and AVHRR NDVI // Remote Sens. Letters. 2012. V. 3. Iss. 5. P. 403–411.
16. *Walker D.A., Epstein H.E., Jia G.J., Balser A., Copass C., Edwards E.J., Gould W.A., Hollingsworth J., Knudson J., Maier H.A., Moody A., Raynolds M.K.* Phytomass, LAI, and NDVI in northern Alaska: Relationships to summer warmth, soil pH, plant functional types, and extrapolation to the circumpolar Arctic // J. Geophysical Research. 2003. V. 108. N. D2. 8169. P. 1–7. doi:10.1029/2001JD000986.

Using remote sensing for geobotanical zoning of the East European tundra

I. Lavrinenko

*Komarov Botanical Institute Russian Academy of Sciences,
197376, Sankt-Petersburg, Professor Popov, 2,
e-mail: lavrinenkoi@mail.ru*

132 geobotanical districts, which relate to the 18 geobotanical regions, 4 subzone and two subprovinces, were allocated in the East European tundra using maps and remote sensing methods. Significant differences in the typological diversity of vegetation were found between geobotanical regions. The distributions of the maximum values of NDVI correspond to the proposed scheme of geobotanical zoning. The mean values of above-ground green phytomass for regions change from 135 to 450 g/m² with a coefficient of variation of 0,8 to 20 %.

Keywords: geobotanical zoning, remote sensing, East European tundra, NDVI, phytomass.