

УДК 574.47 + 519.23

ВОЛКОВ Алексей Геннадьевич, аспирант кафедры лесоводства и почвоведения лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 3 научных публикаций

НАКВАСИНА Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 220 научных публикаций

МОЛОКОВА Елена Сергеевна, студентка кафедры лесоводства и почвоведения лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО

В статье рассмотрена пространственная структура напочвенного покрова ельника черничного подзоны северной тайги. Обоснованы три показателя (проективное покрытие черники и сфагнового мха и рельеф местности), по которым возможно разделение его на однородные группы (кластеры). С помощью моделей распределения выделено 6 групп (фитогеохор) напочвенного покрова и дана их характеристика.

Ключевые слова: биогеоценоз, напочвенный покров, геостатистика, пространственная структура.

Явление мозаичности компонентов биогеоценоза (БГЦ) в горизонтальном направлении хорошо известно современной науке и отмечено многими исследователями [14, 16, 17]. Сложность изучения пространственной структуры биогеоценозов обусловлена континуальностью его компонентов и проявления их свойств, в связи с чем разработано множество подходов к выделению определенных горизонтальных структур, помогающих в исследованиях вертикальных и горизонтальных вещественно-энергетических связей в экосистеме.

Наиболее широкое применение в изучении хронологической неоднородности биогеоценозов получил сформулированный Н.В. Дылисом [4, 5] парцеллярный подход. Впоследствии он развивался многими учеными [8, 10, 13, 15] и получил свое отражение на современном этапе изучения структурной организации различных сообществ [2, 6, 12]. В то же время термин парцелла весьма неоднозначен. Изначально парцелла – это обособленный участок леса, сформированный индивидуальным эдификатором и доминантами растительного покрова.

С течением времени парцелла стала рассматриваться как подсистема в биогеоценозе, т. е. соподчиненная экосистема более низкого, чем тип леса, уровня организации [9]. В таком ключе понятие парцеллы тесно граничит с понятием синузии. По В.С. Ипатову [7] синузия – это один из ценоэлементов, компонент растительности, сложенный особыми одной жизненной формы. В натуре границы парцелл отчетливо прослеживаются по структурным элементам: числу, высоте или густоте ярусов; видовому составу растений, облию, форме роста, возрасту и жизненности растений; составу и строению подстилки [13].

Очевидно, что наиболее характерным методом дифференциации парцеллы, в настоящее время, является комплексный подход. Именно комплексность позволяет выделить парцеллу по специфичности всех ее компонентов [9]. Однако та же комплексность выделения имеет некоторые минусы. На практике при визуальном выделении парцелл чаще всего во внимание принимается биотический фактор, в зависимости от масштаба исследования. Как правило, это наиболее простой, классический подход, не требующий априорных знаний о данном биогеоценозе. Вследствие этого, в однородной парцелле сочетаются принципиально разные свойства абиотических и биокосных факторов, так как в вертикальной структуре биогеоценоза, точное совпадение границ всех слоев практически невозможно, и выделение фитоценологических группировок не позволяет, в полной мере отразить изменения, например, свойств почвы. Весьма высокая, в данном случае, внутри парцеллярная вариабельность не дает возможности говорить о парцелле как об элементарной биогеоценотической структурной единице. Возникает необходимость четкого выделения максимально однородного структурного элемента, которой бы достаточно полно характеризовал экологические функции отдельных частей и биогеоценоза в целом.

Цель исследования заключалась в изучении пространственно-структурных особенностей растительного покрова ельника черничного в

условиях подзоны северной тайги. Исходя из этого, поставлены задачи изучения биологических параметров растительного напочвенного покрова территории; анализа их пространственной структуры и выбора метода и подхода к его пространственной дифференциации.

Исследования проводились в пределах подзоны северной тайги на территории Приморского района Архангельской области. Для изучения структурных особенностей БГЦ нами была заложена пробная площадь размером 50 × 50 м. Рельеф холмистый, с перепадами высот до 8 м. Тип леса – ельник чернично-зеленомошный свежий, является преобладающим типом леса в Архангельской области, на долю ельников приходится 49 % территории [15]. Формула древостоя 6Е2С2Б, возраст 140 лет. В напочвенном покрове преобладает черника. Почвенный покров представлен вариацией подзолистых иллювиально-железистых почв, подбуров оподзоленных и усложнен пятнами торфянисто-глеевых почв. Почвообразующая порода представлена среднесуглинистой мореной.

Пробная площадь представляет собой регулярную сеть из 121 точки с шагом 5 м. Выполнена съемка рельефа местности, рассчитаны отметки высот, построен план в горизонталях. На каждой точке отбора определялось проективное покрытие черники (*Vaccinium myrtillus* L.), лесных трав (*Luzula pilosa* (L.) Willd., *Maianthemum bifolium* (L.) F.Schmidt), зеленых (*Dicranum polysetum* Sw, *Polytrichum commune* Hedw.) и сфагновых (*Sphagnum magellanicum* Brid.) мхов [16]. Пространственный анализ напочвенного покрова осуществлялся в ГИС с применением индексов Moran's I и Getis-ord Gi [20, 22], вариограмного и кластерного анализа.

При визуальном обследовании пробной площади были выделены 3 парцеллы: чернично-мертвопокровная, черничная и чернично-сфагновая. Замечено, что черничная парцелла, имеющая большую площадь, характеризуется различными биологическими показателями. Проведенный статистический анализ показал, что внутри нее биологические и морфометрические показатели варьируют в широких пре-

делах. Поэтому для выделения однородных участков провели пространственный анализ структурных закономерностей напочвенного покрова и рельефа с последующим выделением сходных по характеристикам групп.

Прежде всего, необходимо было выявить, имеет ли показатель проективного покрытия черники на пробной площади какие либо закономерности в пространственном распределении. Анализ пошаговой автокорреляции показал, что наиболее значимая связь между точками в пространстве наблюдается на расстоянии около 10 м. Это означает, что именно через такое расстояние происходит смена различных групп проективного покрытия черники. Вычисленный индекс Moran's I подтвердил значимую кластеризацию значений в пространстве. Об этом же свидетельствует и статистически значимый локальный индекс Getis-Ord Gi. Такая закономерность может быть объяснена сменой почвенных и морфометрических свойств территории, которые имея определенные показатели, в той или иной степени образуют оптимальные ниши для формирования черничных парцелл.

Проведен анализ «выбросов», а также «горячих» и «холодных» точек. Анализ «выбросов» находит точки с выпадающими для региона исследования значениями. «Выбросы» имеют достоверные значимые различия в значениях по отношению к соседям, то есть, окружены точками со значениями показателя, сильно отличающегося от них. Анализ «горячих» и «холодных» точек выявляет кластеры сходных высоких или низких значений показателя. При таком анализе, находятся точки, которые имеют достоверно схожие значения со своими соседями.

Анализ выпадающих значений («выбросов») выявил наличие экстремальных точек, однако их количество невелико. Статистически значимые высокие значения проективного покрытия черники приурочены к местам со средним относительно пробной площади рельефом, расположенным в верхней и средней частях склона южной экспозиции. Возможно,

именно в таких местообитаниях формируется наиболее оптимальный набор показателей для ее произрастания. «Выбросы» с нетипично малыми значениями немногочисленны и распределены по площади. Такое размещение может быть объяснено локальными факторами, связанными с попаданием точек учета под крону деревьев.

Анализ «горячих» и «холодных» точек выявил статистически значимую кластеризацию высоких значений. Эти кластеры совпадают с визуально выделенной черничной парцеллой. Как и в случае с выбросами высоких значений, «горячие» точки приурочены к местам, оптимальным для произрастания черники.

Анализируя пространственную структуру распределения черники можно сделать вывод, что более однородные участки сменяют друг друга на расстоянии около 10 м. Учитывая размеры пробной площади 50 × 50 м можно предположить наличие 5–6 однородных групп проективного покрытия черники. Наблюдаемая тенденция зависимости распространения черники от морфометрических характеристик рельефа статистически не доказана, вероятно, из-за наличия более сложных нелинейных связей между этими показателями.

Поскольку при визуальном обследовании выделены чернично-сфагновые парцеллы, для более качественного анализа необходимо учитывать фактор наличия и распространения сфагновых мхов. На местности было видно, что сфагновые мхи тяготеют к пониженным участкам пробной площади у нижней части южного и северного склона холма.

Анализ пошаговой автокорреляции показал, что смена моделей распределения сфагнового мха происходит на расстояниях 10-15 м. Индексы Moran's I и Getis-Ord Gi показали статистически значимую пространственную кластеризацию. Расчет вариограммы показал высокое значение остаточной дисперсии (около 60 %), что обычно объясняется или наличием ошибок измерения или вариацией свойств на расстояниях меньше шага опробования. В нашем случае это, скорее всего, связано с вариацией

свойств на расстояниях меньше шага опробования. Известно, что сфагнум локализуется в пониженных, часто заболоченных местах, в которых вероятно образование кочек. Такие мелкомасштабные смены микроповышений, возможно, и привели к вариации в масштабе меньшем, чем масштаб отбора проб.

Анализ «горячих» точек выявил статистически значимую кластеризацию высоких значений проективного покрытия сфагнового мха, полностью совпадающих с визуально выделенной чернично-сфагнуовой парцеллой, с наибольшими значениями в центре кластера и постепенным убыванием к его периферии. Спад влияния сфагноума происходит постепенно, к краю группы, в среднем через 15 метров, что еще раз подтверждает наличие максимальной автокорреляции на таком расстоянии. Статистически значимых «холодных» точек, а также «выбросов» не выявлено.

Места локализации сфагноума приурочены к понижениям пробной площади, которые располагаются с обеих сторон холма, имеющего вытянутую форму. Корреляционный анализ показал статистически значимую, умеренную [3] отрицательную связь между отметкой высоты и проективным покрытием сфагноума ($r = -0,4$; $t_{0,05} = 4,8$).

Изучение структуры покрытия зелеными мхами имеет большое значение, так как при выявлении значимых особенностей распределения этот фактор можно включить в модель построения групп. Зеленый мох покрывает практически всю территорию пробной площади и распределен более равномерно чем сфагнум, о чем свидетельствует отсутствие «выбросов», а также низкая остаточная дисперсия (12 %), полученная с помощью вариационного анализа, которая показывает отсутствие локальной вариации на расстояниях, меньше шага опробования (5 м). Анализ пошаговой автокорреляции показал наибольшую статистически значимую связь на расстояниях 10-15 м. Анализ «горячих» и «холодных» точек по проективному покрытию зеленых мхов выявил кластеризацию высоких значений в местах, схожих с кластери-

зацией высоких значений проективного покрытия черники, а низких значений – сфагнового мха. Т. е. наибольшее проективное покрытие зеленым мхом соответствует местам с высокой концентрацией черники («горячие» точки), а сфагновыми мхами – низкой («холодные» точки). Таким образом, пространственная организация зеленого мха во многом схожа с распределением черники и сфагнового мха. Об этом свидетельствует проведенный корреляционный анализ, показавший наличие статистически значимых умеренной положительной связи между черникой и зеленым мхом ($r = 0,32$; $t_{0,05} = 3,8$), и умеренной, отрицательной связи между зеленым и сфагновым мхом ($r = -0,31$; $t_{0,05} = 3,4$). Лесные травы на пробной площади распределены весьма локально и не проявляют пространственных закономерностей, о чем свидетельствует вариограммный анализ. Немногочисленные места произрастания травы локализируются в понижениях рельефа, что подтверждается статистически значимым, слабым отрицательным коэффициентом корреляции ($r = -0,19$; $t_{0,05} = 2,1$).

Рассматривая структурную организацию растительности на пробной площади, можно заключить, что для выделения достаточно однородных групп напочвенного покрова целесообразно использовать три важнейших фактора: проективное покрытие черники и сфагновых мхов, а также рельеф.

Количество групп выбирали по результатам псевдо F – статистики Калински – Харабаза [20], которая показала, что пространственный кластерный анализ наилучшим образом будет проведен с 6 или 8-10 группами. Большое количество групп вызвало бы некоторые сложности в анализе, и весьма сомнительно с точки зрения биогеоценологии в связи с излишней мозаичностью. Поэтому для анализа было принято выделить 6 однородных групп. Правильность выбора факторов кластеризации подтверждается высокими значениями R^2 ($R^2 = 0,69-0,77$) для каждой группы, что говорит о том, что эти переменные позволяют наилучшим образом разделить пространство на кластеры. В каче-

стве проверки были вычислены R^2 для не вошедших в модель факторов, значения их были очень низкими ($R^2 = 0,01-0,24$). Преимущества пространственного кластерного анализа по сравнению с классическим заключается в том, что при пространственном анализе учитывается фактор соседства [21], т. е. не могут быть выделены кластеры в пространстве по одной точке. Каждая точка в кластере должна иметь минимум соседей, определенных с помощью параметра пространственных ограничений K – средних соседей [21].

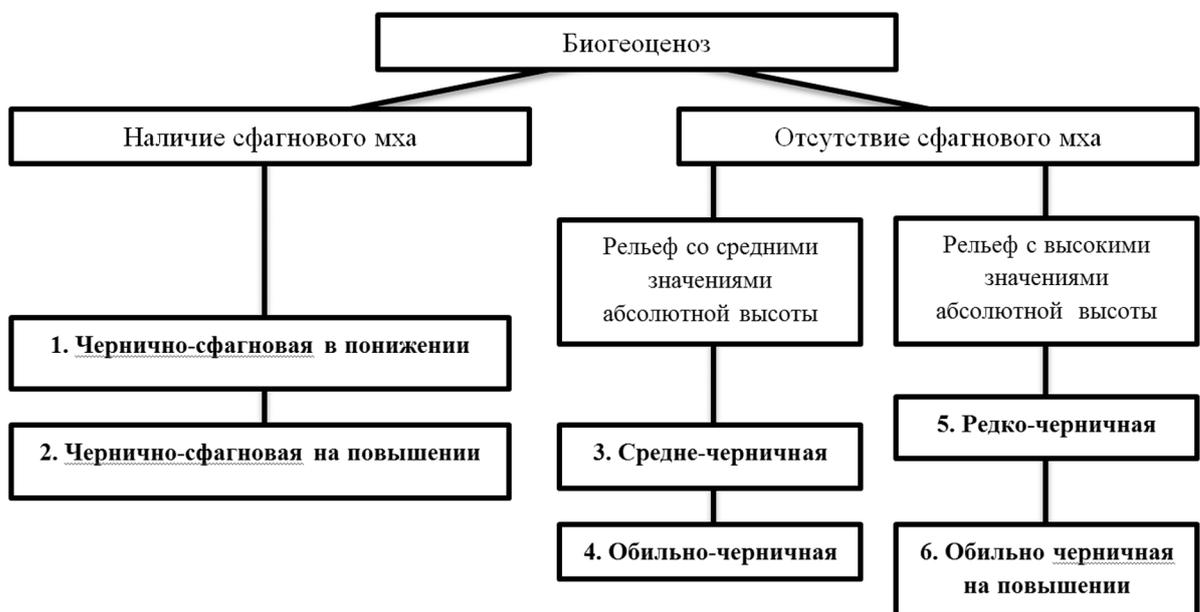
Результатами пространственного кластерного анализа явились карта принадлежности точек к определенному классу, табличная характеристика необходимых статистических показателей каждой группы и каждого показателя, а также перекрестный Вох – график распределения переменных в кластерах. На схеме (см. рисунок) приведена адаптированная логическая схема статистически обоснованного выделения однородных групп на основе пространственной кластеризации трех показателей БГЦ в ельнике черничном подзоны северной тайги.

Характеристика кластеров представлена в таблице.

– 1 группа: характеризуется наличием большого количества сфагнового мха (70 %), средней отметкой высоты ниже средней по все пробной площади, проективное покрытие черники низкое. Группа практически полностью совпала с одной из визуально выделенных чернично-сфагновой парцеллой.

– 2 группа: характеризуется меньшим проективным покрытием сфагнума (60 %), более высоким положением относительно рельефа, и большим (в 2 раза) проективным покрытием черники. Данная группа совпадает с одной из чернично-сфагновых парцелл, однако теперь они разнесены по рельефу и проективному покрытию черники, как имеющие значительные различия.

– 3 и 4 группы: отличаются отсутствием сфагнума, располагаются примерно на одной высоте, но имеют существенные (в 2 раза) различия в проективном покрытии черники. Визуально эти две группы относились к одной черничной парцелле.



Статистически выделенные пространственные группы напочвенного покрова в ельнике черничном

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП
(кластеров)

№	Название группы	Количество точек	Проективное покрытие сфагновым мхом, %			Характеристика рельефа	Относительная отметка высоты, м		Проективное покрытие черники, %				Площадь, %
			Сред. ± m min-max	Медиана	СКО		Сред. ± m min-max	СКО	Характеристика проективного покрытия черники	Сред. ± m min-max	Медиана	СКО	
1	Чернично-сфагновая в понижении	7	$\frac{70 \pm 13,4}{0-100}$	80	35,6	понижение	$\frac{8,7 \pm 0,4}{7,2-10,9}$	1,0	редкое	$\frac{21,4 \pm 5,7}{5,0-50,0}$	15	15,2	3,3
2	Чернично-сфагновая на повышении	14	$\frac{60 \pm 11,0}{0-100}$	80	41,3	средние отметки высот	$\frac{12,2 \pm 0,1}{11,4-13,1}$	0,5	среднее	$\frac{45,7 \pm 4,3}{20,0-80,0}$	45	16,3	10,7
3	Средне-черничная	12	отсутствует	отсутствует	отсутствует		$\frac{10,6 \pm 0,2}{9,7-11,7}$	0,7	среднее	$\frac{37,5 \pm 5,2}{5,0-60}$	40	18,2	8,2
4	Обильно-черничная	9	отсутствует	отсутствует	отсутствует	$\frac{10,4 \pm 0,3}{8,6-11,4}$	0,9	обильное	$\frac{75,0 \pm 2,9}{60,0-90,0}$	75	8,7	8,1	
5	Редко-черничная	48	отсутствует	отсутствует	повышения	$\frac{13,5 \pm 0,1}{11,5-15}$	0,9	редкое	$\frac{18,9 \pm 2,0}{5,0-60,0}$	15	13,8	40,1	
6	Обильно-черничная на повышении	31	отсутствует	отсутствует	повышения	$\frac{13,4 \pm 0,1}{12,0-15,3}$	0,8	обильное	$\frac{70,3 \pm 2,7}{45,0-90,0}$	70	15,1	29,6	
Итого по биогеоценозу		121	$\frac{11,2 \pm 2,6}{0-100}$	-	28,8	Моренный, выгнутый холм	$\frac{12,5 \pm 0,1}{7,2-15,3}$	1,7	среднее	$\frac{41,3 \pm 2,5}{5,0-90,0}$	40	27,2	100

– 5 группа: располагается на вершине холма, в целом занимает повышенные местоположения на пробной площади, характеризуется очень низким проективным покрытием черники. Соответствует визуально выделенной чернично-мертвопокровной парцелле.

– 6 группа: занимает то же положение в рельефе, что и 5 группа, однако имеет существенные различия в проективном покрытии черники. В натуре она была объединена с 3 и 4 группами – визуальная черничная парцелла.

Таким образом, при изучении и статистическом моделировании пространственной изменчивости напочвенного покрова ельника черничного в подзоне северной тайги выде-

лены три показателя, которые можно уверенно использовать для разделения его на однородные группы (кластеры) – проективное покрытие черники и сфагнового мха и рельеф местности. С помощью моделей пространственной структуры выделено 6 однородных групп напочвенного покрова, которые можно считать фитогеохорами [11], отличающихся своими характеристиками. Геостатистический метод более дробно дифференцирует структуру напочвенного покрова биогеоценозов по сравнению с визуальным и может быть использован при детальном исследовании пространственной структуры их компонентов.

Список литературы

1. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Гориков В.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб., 2002.
2. Грязькин А.В. Структурная организация фитоценозов южной тайги (на примере ельников зеленомошной группы типов леса). СПб., 1999.
3. Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике. М., 1971.
4. Дылис Н.В. Структура лесного биогеоценоза. М., 1969.
5. Дылис Н.В., Уткин А.И., Успенская И.М. О горизонтальной структуре лесных биогеоценозов // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1964. Т. 69. Вып. 4. С. 65–72.
6. Жарикова Е.А., Толстоконев Е.Н. Свойства буроземов различных парцелл широколиственного леса южного приморья // Вестник КрасГАУ. Почвоведение. № 8. 2009. С. 38–40.
7. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб., 1997.
8. Карпачевский Л.О. Динамика естественных и искусственных лесных биогеоценозов Подмосковья. М., 1987.
9. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М., 1981.
10. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесных биогеоценозах. М., 1977.
11. Лесной план Архангельской области / Архангельский филиал ФГУП «Рослесинфорг». Архангельск, 2011.
12. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / отв ред. Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. М., 2010.
13. Носова Л.М. О горизонтальной структуре сосновых культур на дерново-подзолистых почвах / отв. ред. Л.О. Карпачевский. М., 1987. С. 5–25.
14. Кищенко И.Т. Основы лесной биогеоценологии. Петрозаводск, 2005.
15. Пестрота почвенного покрова и ее связь с парцеллярной структурой биогеоценоза. Отдельный оттиск / Л.О. Карпачевский, Н.К. Кисилёва, Т.Г. Леонова, С.И. Попова. М., 1971. С. 151–224.
16. Программа и методика биогеоценологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М., 1966.
17. Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз. Архангельск, 1999.
18. Calinski T., Harabasz J. A Dendrite Method for Cluster Analysis // Communication in Statistics – Theory and Methods. 1974. № 3. P. 1–27.
19. Duque J.C., Ramos R., Surinach J. Supervised Regionalization Methods: A Survey // International Regional Science Review. 2007. Vol. 30. № 3. P. 195–220.

20. Getis A., Ord J.K. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics // *Geographical Analysis*. 1992. № 24 (3). P. 189–206.
21. Jain A.K. Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means // *Pattern Recognition Letters*. Elsevier 2010, № 31. P. 651–666
22. Moran P.A. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 1950. № 37 (1–2). P. 17–23.

References

1. Andreeva E.N., Bakal I.Yu., Gorshkov V.V. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods of Studying Forest Communities]. St. Petersburg, 2002.
2. Gryaz'kin A.V. *Strukturnaya organizatsiya fitotsenozov yuzhnoy taygi (na primere el'nikov zelenomoshnoy gruppy tipov lesa)* [The Structural Organization of Plant Communities of the Southern Taiga (exemplified by moss spruce stands)]. St. Petersburg, 1999.
3. Dvoretzkiy M.L. *Posobie po variatsionnoy statistike* [Textbook on Variation Statistics]. Moscow, 1971.
4. Dylis N.V. *Struktura lesnogo biogeotsenoza* [The Structure of Forest Biogeocenosis]. Moscow, 1969.
5. Dylis N.V., Utkin A.I., Uspenskaya I.M. O gorizonta'noy strukture lesnykh biogeotsenozov [The Horizontal Structure of Forest Biogeocenoses]. *Byul. MOIP. Otd. biol.* 1964. Vol. 69. No. 4. P. 65–72.
6. Zharikova E.A., Tolstokoneva E.N. Svoystva burozemov razlichnykh partsell shirokolistvennogo lesa yuzhnogo primor'ya [Burozems Properties of the Different Parcels of the Broad Leaved Forests in the Southern Primorye]. *Vestnik KrasGAU. Pochvovedenie*, 2009. No. 8. P. 38–40.
7. Ipatov V.S., Kirikova L.A. *Fitotsenologiya*. [Phytocenology]. St. Petersburg, St. Petersburg, 1997.
8. Karpachevskiy L.O. *Dinamika estestvennykh i iskustvennykh lesnykh biogeotsenozov podmosko'ya* [Dynamics of Natural and Artificial Forest Biogeocenoses in Podmoskovye]. Moscow, 1987.
9. Karpachevskiy L.O. *Les i lesnye pochvy* [The Forest and Forest Soils]. Moscow, 1981.
10. Karpachevskiy L.O. *Pestrota pochvennogo pokrova v lesnykh biogeotsenozakh* [Diversity of Soil in Forest Biogeocenoses]. Moscow, 1977.
11. *Lesnoy plan Arkhangel'skoy oblasti* [Forest plan of the Arkhangelsk Region]. Arkhangelsk, 2011.
12. *Metodicheskie podkhody k ekologicheskoy otsenke lesnogo pokrova v bassejne maloy reki* [Methodological Approaches to Environmental Assessment of Forest Cover in a Small River Basin]. Ed. Zaugol'nova L.B., Braslavskaya T.Yu. Moscow, 2010.
13. Nosova L.M. O gorizonta'noy strukture sosnovykh kul'tur na dernovo-podzolistykh pochvakh [The Horizontal Structure of Pine Cultures on Sod-podzolic Soils]. Ed. Karpachevskiy L.O. Moscow, 1987. P. 5–25.
14. Kishchenko I.T. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of Forest Biogeocenology]. *Petrozavodsk*, 2005.
15. *Pestrota pochvennogo pokrova i ee svyaz' s partsellyarnoy strukturoy biogeotsenoza* / L.O. Karpachevskiy, N.K. Kisileva, T.G. Leonova, S.I. Popova. *Otdel'nyy ottisk* [Diversity of Soil and its Relation to the Parcel Structure of Biogeocenosis. Reprint]. Moscow, 1971. P. 151–224.
16. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [The Program and Methodology of Biogeocenotic Research]. Ed. V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow, 1966.
17. Tsvetkov V.F. *Lesnoy biogeotsenoz* [Forest Biogeocenosis]. Arkhangelsk, 1999.
18. Calinski T., Harabasz J. A Dendrite Method for Cluster Analysis. *Communication in Statistics – Theory and Methods*. 1974. No. 3. P. 1–27. doi: 10.1080/03610927408827101.
19. Duque J.C., Ramos R., Surinach J. Supervised Regionalization Methods: A Survey. *International Regional Science Review*. 2007. Vol. 30. No. 3. P. 195–220.
20. Getis A., Ord J.K. The Analysis of Spatial Association by use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*. 1992. No. 24 (3). P. 189–206.
21. Jain A.K. Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means // *Pattern Recognition Letters*. Elsevier 2010, № 31. P. 651–666.
22. Moran P.A. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 1950. No. 37 (1–2). P. 17–23.

Volkov Aleksey Gennadyevich

Postgraduate Student, Forestry Engineering Institute,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Nakvasina Elena Nikolaevna

Forestry Engineering Institute,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Molokova Elena Sergeevna

Student, Forestry Engineering Institute,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

GEOSTATISTICAL MODELING OF THE SPATIAL STRUCTURE OF A BLUEBERRY SPRUCE FOREST

The article deals with the spatial structure of a blueberry spruce forest in northern taiga subzone. Three measures (projective cover of blueberry and sphagnum moss, and relief) allowing its division into homogeneous groups (clusters) have been singled out. Using distribution models, we have singled out and analyzed 6 groups and presented a logical cluster scheme.

Keywords: *biogeocenosis, ground cover, geostatistical analysis, spatial structure.*

Контактная информация:

Волков Алексей Геннадьевич

e-mail: jonlordeg@rambler.ru

Наквасина Елена Николаевна

e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

Молокова Елена Сергеевна

e-mail: e.molokova@rambler.ru

Рецензент – *Феклистов П.А.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова