Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========
УДК 630*181.351

Районирование территории ЦФО по комплексу лесоводственно-климатических показателей

Хлюстов В.К.[1], Васенев И.И.[1], Ганихин А.М.[1,2]

[1]РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

[2]Филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект»

Аннотация

Предметом исследования является районирование территории ЦФО по комплексу лесоводственно-климатических показателей. По Г.Н. Высоцкому, Г.В. Добровольскому, И.С. Урусевской - биоресурсное экологическое зонирование определяется комплексом взаимообусловленных природных биоклиматических факторов, что отображено в схеме распределения природных зон [10], не потерявшей своей актуальности до настоящего времени. Проблема районирования лесов имеет более чем вековую историю и, тем не менее до сих пор актуальной задачей является обоснование его научно-методических принципов и решений. Статистически достоверное выделение однородных лесных территорий по комплексу показателей должно регламентировать применение нормативно-справочных материалов и правовых актов по оценке, охране, защите и воспроизводству лесов, что является фундаментом экологически обоснованного ведения лесного хозяйства, лесопользования и лесоуправления в целом. Предложенная схема лесоводственно-климатического районирования построена по данным средних многолетних показателей климата и продуктивности древостоев основной лесообразующей породы субъектов ЦФО, рассчитанных на уровне таксонов. Объединение (классификация) таксонов в конкретный район выполнено поэтапно с использованием факторного, кластерного и дискриминантного анализов. Выделение 2 главных факторов-компонентов, объединяющих 16 переменных, позволяет объяснить 82,3% варьирования исходных данных продуктивности древостоев. По итогам кластерного анализа на территории Центрального федерального округа выделено 4 лесоводственно-климатических района. Достоверность кластеризации и окончательной классификации субъектов ЦФО подтверждена статистическими критериями дискриминантного анализа.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Ключевые слова: ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ, РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕСОВ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, МЕТОДЫ МНОГОМЕРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ РФ

Введение

Решение проблемы районирования лесов является актуальной научной и производственной задачей, которая закреплена в лесном кодексе Российской Федерации (ст. 15 ЛК РФ) и приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Существующие в настоящее время схемы районирование лесов имеют, как правило, относительно узко ориентированную целевую направленность (лесосеменное, лесопожарное, лесоэкономическое, лесотаксационное и т.д.). Методика их составления, в значительной мере, основана на экспертных оценках, в которых неизбежно присутствует интуитивно-субъективное мнение эксперта. В последние годы активно разрабатываются полифакториальные схемы лесного районирования, получение которых основано на математико-статистических методах решения задач классификации объектов (таксонов), характеризующихся множеством переменных.

В лесном кодексе указано, что районирование должно быть лесорастительным, при котором лесорастительные зоны определяются природно-климатическими условиями [8], а сама методика районирования должна быть предельно аргументирована и научно-обоснована.

Основоположником лесорастительного районирования страны является академик ВАСХНИЛ и АН УССР Георгий Николаевич Высоцкий. Ещё в 30-х годах XX столетия им выдвинута идея многофакторного районирования, обусловленного взаимосвязью характеристики растительности и прежде всего лесной с климатическими и почвенными показателями. Решающая роль биоклиматических факторов в определении природной зональности почвенного покрова была убедительно раскрыта в работах Глеба Всеволодовича Добровольского и Инги Сергеевны Урусевской [3, 4]. Существующая схема природных зон характеризует их территориальное распределение в соответствии с количеством осадков, испаряемости, длины вегетационного периода, количества солнечной радиации, средней годовой температуры воздуха, преобладающим уровнем грунтовых вод, зональными типами почв, содержанием в их основных горизонтах карбонатов и водорастворимых солей, а также характером зональной растительности [10]. Схема Г.Н. Высоцкого до настоящего времени не утратила своей актуальности и явилась отправной

точкой для настоящего исследования, так как на рост и естественное формирование лесов влияет множество экологических факторов (показателей) и прежде всего климатических.

За более чем вековую историю учения о районировании лесов было предложено множество схем, которые, как правило, содержат значительную долю субъективизма [6], так как само явление факториальной многомерности лесных экосистем является очень сложным для количественной оценки и, следовательно, требует применения системного анализа и программных средств решения классификационных задач. Так, решение задачи лесного районирования направлено, прежде всего, на зонирование территории лесного фонда с последующей регламентацией особенностей интенсивности ведения лесного хозяйства и оптимизации управления лесными ресурсами для каждого конкретного района.

Следует отметить, что схема лесного районирования Российской Федерации, утверждённая Министерством природных ресурсов [12], не имеет статистически достоверного научно-методического обоснования и, во многом, является функционально упрощенным вариантом схемы районирования С.Ф. Курнаева [7], с некоторой корректировкой названия лесорастительных зон, а также объединением небольших по площади зон с более крупными, на что указывают сами авторы предложенной схемы [6].

Анализ литературных источников, посвященных этой проблеме за последнее десятилетие, указывает на актуальность дальнейшей разработки регионально адаптированных схем районирования лесов, имеющих статистическое научно-методическое обоснование [2, 6, 15].

В соответствии с требованием лесного кодекса дифференциация территории лесного фонда страны должна быть выполнена с выделением лесорастительных зон и лесных районов. Для конкретной лесорастительной зоны должны быть регламентированы лесоводственные мероприятия и особенности управления лесными ресурсами. В условиях конкретного лесного района следует обосновать возраста рубок лесообразующих пород в соответствии с технической спелостью древостоев, ориентированной на целевые сортименты, а также правила ухода за насаждениями, лесовосстановления, заготовки древесины и недревесной продукции, пожарной и санитарной безопасности [8].

Для субъектов Северо-Западного федерального округа и Центрального федерального округа В.К. Хлюстовым [13], В.К. Хлюстовым, А.М. Ганихиным и Д.В. Хлюстовым [14] были предложены схемы ресурсно-экологического лесного районирования, разработанные с применением методов многомерной классификации с критериальным подтверждением их статистической достоверности. Изложенная методика

имеет научное обоснование с логичным включением в анализ комплекса как ресурсных, так и экологических показателей. При обосновании контуров лесных районов таксоны (отдельные лесничества) классифицировались по данным представленным 5 блоками, с варьирующим в зависимости от субъекта, количеством переменных, которые характеризуют:

а) климатические и почвенные условия;
б) структуру площадей, занятых различными категориями земель и объектов;
в) структуру площадей по типам лесов;
г) средний бонитет и полноту древостоев по типам лесов [13, 14].

Выделенные ресурсно-экологические районы являются статистически обоснованной альтернативой действующему лесорастительному районированию. Предложенные схемы научно-обоснованных границ контуров ресурсно-экологических лесных районов следует принять к руководству при распределении субвенций, выделяемых субъектам РФ на выполнение мероприятий, предусмотренных Лесным планом.

В отличие от вышеупомянутых схем лесного районирования в рамках конкретного субъекта РФ в статье рассмотрена возможность районирования территории Центрального федерального округа по комплексу лесоводственно-климатических показателей, характеризующих более крупные таксоны, представленные субъектами РФ. Многомерная классификация более крупных территориальных образований предусматривает статистическое разделение территории ЦФО на отдельные лесорастительные зоны.

Цель исследования заключается в статистическом обосновании схемы лесного районирования Центрального федерального округа с выделением контуров отдельных зон территории по комплексу лесоводственно-климатических показателей.

Материал и методы

В качестве показателей, напрямую характеризующих климатические особенности территорий, были использованы данные показателей температурного режима и характера увлажнения:

а) средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (^{0}C);
б) абсолютный минимум температуры воздуха (^{0}C);
в) сумма температур за период с температурой выше 10 ^{0}C;
г) показатель континентальности климата по Н.Н. Иванову (определяемый по формуле 1);

д) годовая сумма осадков, мм;

е) испаряемость за год, мм;

ж) годовой показатель увлажнения (определяемый по формуле 2);

з) высота снежного покрова (средняя из максимальных), см (табл. 1).

В качестве показателей, косвенно характеризующих климатические условия, были использованы: баллы продуктивности климата, где средневзвешенный показатель урожайности основных зерновых культур (овес, ячмень, просо, рожь, пшеница и кукуруза) выражен в баллах (1 ц/га = 5 баллам): фактическая нормальная продуктивность ($Ф_н$); потенциальная продуктивность, определяемая величиной урожайности при условии обычного увлажнения и наиболее полного использования растениями тепловых ресурсов местности посевом позднеспелых культур или выращиванием и сбором урожая за год от нескольких культур с одного поля (П); потенциальная продуктивность, определяемая по расчетным величинам урожайности в условиях оптимального увлажнения и при полном использовании растениями тепла ($П_о$) (табл. 1). Все используемые показатели (табл. 1), прямо или косвенно характеризующие климатические условия, являются средневзвешенными (площадь сельскохозяйственного микрорайона перемножалась на значение показателя, затем полученные для микрорайонов значения суммировались и делились на общую площадь субъекта), так как исходные значения в материалах по природно-экономической характеристике приведены для сельскохозяйственных микрорайонов Центрального федерального округа [9].

$$K = \frac{A}{0{,}33 * \varphi} * 100\% \qquad (1)$$

где:

К – индекс континентальности по Н.Н. Иванову;
А – годовая амплитуда температуры воздуха, ^{0}С;
φ – географическая широта.

$$M_d = \frac{P}{\Sigma(E - e)} \qquad (2)$$

где:

M_d – годовой показатель увлажнения;
Р – сумма осадков за год;
Е – парциальное давление насыщенного пара;
е – парциальное давление водяного пара.

В качестве лесоводственного показателя, характеризующего продуктивность лесных насаждений использованы данные из стандартных таблиц запасов, применяемые при

таксации древостоев разной полноты и породного состава. Значения запасов на 1 га нормальных (сомкнутых) древостоев взяты при средней высоте древостоев начиная с 10 м до 30 м с интервалом 5 м для основной лесообразующей породы субъектов РФ ЦФО - сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (табл. 1).

Методика новой схемы районирования включает поэтапное применение факторного, кластерного и дискриминантного анализов. При факторном анализе использован метод главных компонент, с ортогональным вращением (варимакс) для упрощения факторных нагрузок на оси главных компонент и последующей их интерпретации. При использовании факторного анализа удается избавиться от явления мультиколлинеарности между переменными, которое искажает классификационную модель и может приводить к недостоверной классификации объектов исследования.

При кластеризации объектов в системе координат главных компонент использовано последовательное применение метода иерархической кластеризации (агломеративная стратегия) и метода итеративной кластеризации (*k-средних*). Кластеризация методом *k-средних* выполняется до тех пор, пока не будет получено лучшее распределение объектов по кластерам. Применение нескольких методов кластерного анализа вызвано необходимостью ответа на следующие вопросы:

1. Какое количество групп объектов следует считать оптимальным?
2. Каким образом можно достичь достоверного соотнесения объектов в системе координат главных компонент?

Достоверность кластеризации подтверждается дискриминантным анализом [14]. Получение канонических дискриминантных функций позволяет осуществить оценку достоверности результатов кластеризации по следующим критериям: коэффициент канонической корреляции, Лямбда-статистика Уилкса и χ-квадрат Пирсона.

Результаты и обсуждение

Определение числа главных компонент выполнено в соответствии с критерием «*каменистой осыпи Кеттела*», согласно которому выделено два главных компонента (фактора), объясняющих - 82,3% дисперсии задействованных в анализе переменных (рис. 1, табл. 2).

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 1 - Исходные данные для районирования территории ЦФО по комплексу лесоводственно-климатических показателей субъектов

Субъект	Средневзвешенные величины по субъекту											Запас на 1 га сосновых древостоев при полноте 1,0 и высоте, м^3				
	Показатели температурного режима			показатель континентальности климата по Н.Н. Иванову	Показатели режима увлажнения				Баллы продуктивности климата							
	средний из абсолютных минимумов температуры воздуха, ^{0}C	абсолютный минимум температуры воздуха, ^{0}C	сумма температур за период с температурой выше 10 ^{0}C		годовая сумма осадков, мм	испаряемость за год, мм	годовой показатель увлажнения (M_d)	высота снежного покрова (средняя из максимальных), см	$Ф_н$	П	$П_о$	10м	15м	20м	25м	30м
Белгородская область	-28	-38	2611	171	511	603	0,38	31	117	157	186	140	220	310	400	480
Брянская область	-29	-39	1806	154	595	491	0,53	40	116	155	158	130	230	350	480	600
Владимирская область	-33	-50	1971	159	527	426	0,54	52	113	137	140	130	230	360	480	600
Воронежская область	-30	-40	2616	180	448	627	0,32	40	107	143	186	140	220	310	400	440
Ивановская область	-35	-50	1952	162	500	360	0,58	57	114	138	138	130	230	345	435	560
Калужская область	-31	-46	2101	153	565	394	0,6	50	117	149	149	130	230	350	480	600
Костромская область	-35	-51	1787	158	534	372	0,6	60	117	127	127	130	230	330	440	530
Курская область	-28	-38	2365	163	550	515	0,48	40	117	158	168	140	220	310	400	440
Липецкая область	-31	-42	2376	170	497	546	0,41	44	110	148	169	140	220	310	400	440
Московская область	-32	-48	2015	154	582	438	0,57	50	115	142	143	140	230	310	410	550
Орловская область	-30	-39	2225	163	524	450	0,52	44	115	153	158	130	230	350	480	600
Рязанская область	-32	-45	2244	166	485	471	0,45	50	109	147	159	135	225	335	440	520
Смоленская область	-31	-45	1997	145	611	427	0,6	47	117	142	142	130	230	350	480	600
Тамбовская область	-32	-41	2426	177	461	576	0,36	50	104	142	173	140	220	310	400	440
Тверская область	-33	-47	1842	145	620	432	0,6	50	117	131	131	130	220	330	440	530
Тульская область	-31	-43	2148	160	550	481	0,51	50	113	147	152	130	230	360	480	600
Ярославская область	-34	-52	1881	153	600	420	0,6	55	117	133	133	130	230	350	460	580

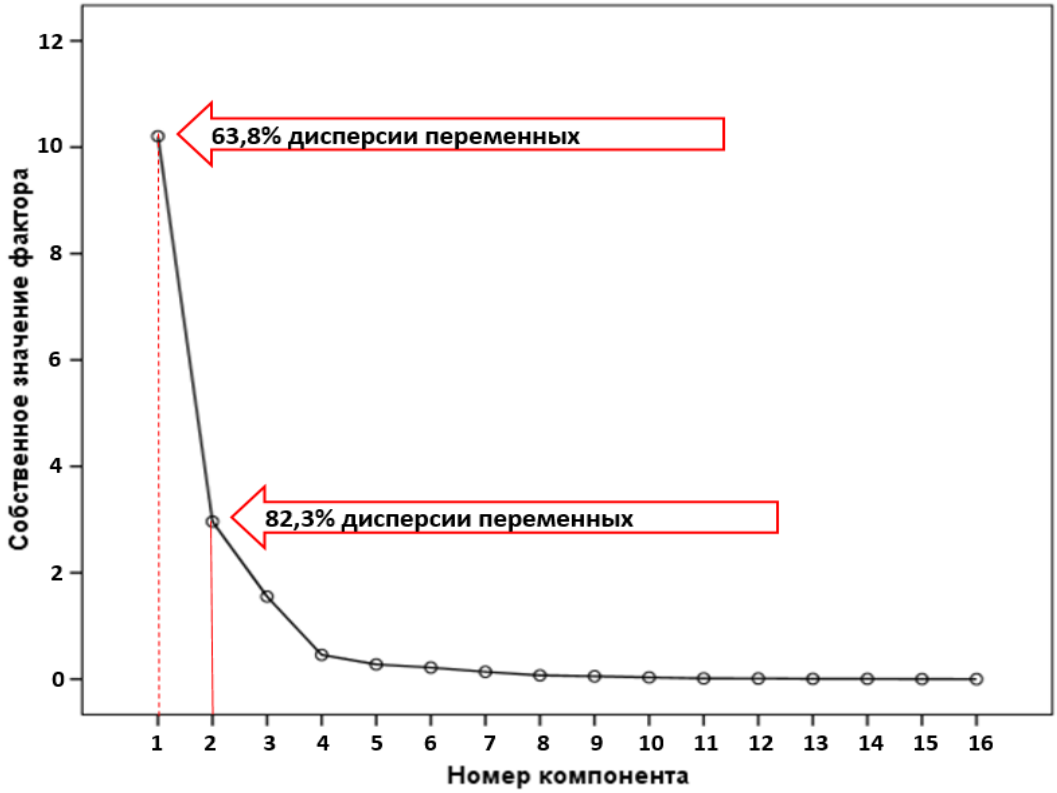

Рис. 1. Определение числа главных компонент

Таблица 2. Собственные значения факторов и процент объясняемой ими дисперсии

Показатели	Собственные значения факторов и их дисперсии по номерам факторов	
	1	2
Собственное значение фактора	10,206	2,962
Дисперсия, %	63,786	18,514
Накопленная дисперсия, %	**63,786**	**82,3**

При оценке результатов факторизации с позиций общности и специфичности не наблюдается проявления специфичности при выделении двух главных компонент (табл. 3, рис. 2).

Анализ факторных нагрузок позволяет осуществить интерпретацию главных компонент (табл. 4). Значение коэффициента корреляции Пирсона близкое к 0,7 и выше указывает на наличие сильной корреляционной взаимосвязи между переменными, образовавшими главные компоненты.

Таблица 3. Характеристика переменных с позиций общности и специфичности при выделении двух главных компонент

Переменные			Общность	Специфичность
Средневзвешенные величины по субъекту	Показатели температурного режима	средний из абсолютных минимумов температуры воздуха, ^{0}С	**0,977**	0,023
		абсолютный минимум температуры воздуха, ^{0}С	**0,907**	0,093
		сумма температур за период с температурой выше 10 ^{0}С	**0,868**	0,132
	Показатель континентальности климата по Н.Н. Иванову		**0,803**	0,197
	Показатели режима увлажнения	годовая сумма осадков, мм	**0,653**	0,347
		испаряемость за год, мм	**0,888**	0,112
		годовой показатель увлажнения (M_d)	**0,917**	0,083
		высота снежного покрова (средняя из максимальных), см	**0,923**	0,077
	Баллы продуктивности климата	фактическая нормальная продуктивность ($Ф_н$)	**0,589**	0,411
		потенциальная продуктивность в условиях обычного увлажнения (П)	**0,857**	0,143
		потенциальная продуктивность в условиях оптимального увлажнения ($П_о$)	**0,958**	0,042
Запас на 1 га сосновых древостоев при полноте 1,0 и высоте, м^3		10м	**0,809**	0,191
		15м	**0,694**	0,306
		20м	**0,692**	0,308
		25м	**0,773**	0,227
		30м	**0,861**	0,139

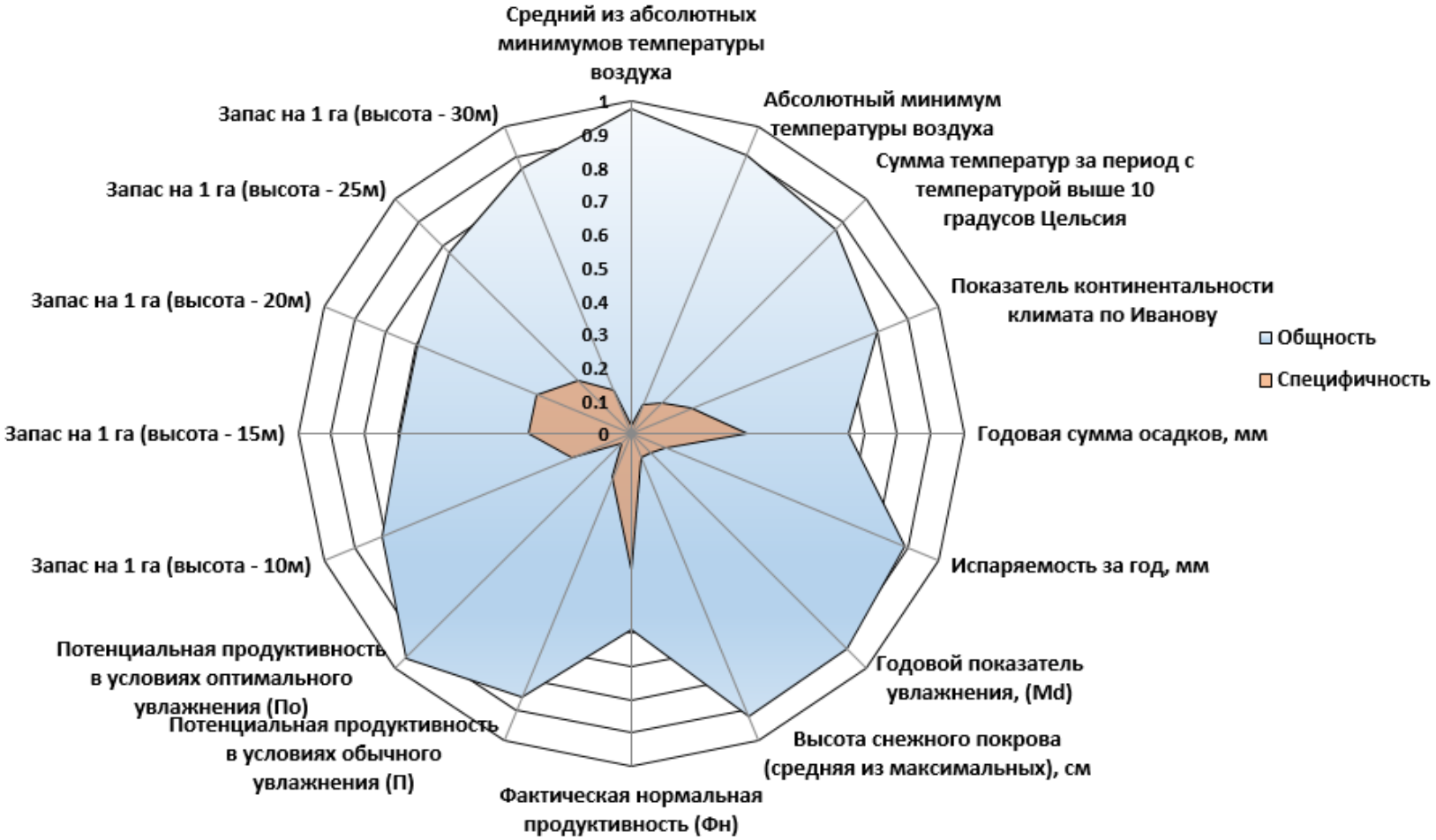

Рис. 2. Соотношение общности и специфичности факторов при выделении двух главных компонент

Так, в формировании первого главного компонента участвуют следующие переменные: сумма температур за период с температурой выше 10 ^{0}С; показатель континентальности климата по Н.Н. Иванову; годовая сумма осадков (мм); испаряемость за год (мм); годовой показатель увлажнения (M_d); фактическая нормальная продуктивность ($Ф_н$); запас на 1 га сосновых древостоев при полноте 1,0 и всех значений высот.

Второй главный компонент сформирован переменными, характеризующими зимний период года (средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (^{0}С), абсолютный минимум температуры воздуха (^{0}С) и высота снежного покрова (средняя из максимальных) (см)), а также испаряемость за год (мм) в совокупности с переменными, характеризующими потенциальную продуктивность климата через бальную оценку урожайности основных зерновых культур (табл. 4).

Полученные нами результаты факторизации согласуются с результатами исследований наших коллег. Так, В.В. Беляевым с соавторами в работе [1] был сделан акцент влияния тепла и влаги на продуктивность сельскохозяйственной и лесной растительности. Авторы отмечают, что именно эти факторы являются лимитирующими. Д.К. Николаевым и Ю.Б. Глазуновым [11] выделены две группы природных факторов, оказывающих влияние на рост и формирование лесной растительности. Первая группа включает влагу, тепло, почвенные условия и свет, вторая образована, так называемыми, природными аномалиями: пожарами, ветровалами, буреломами, снеголомами, вспышками размножения вредителей и т.д.

На региональном уровне показатели фактической нормальной продуктивности ($Ф_н$) основных зерновых культур и показатели продуктивности нормальных сосновых древостоев тесно взаимосвязаны в понятии главного компонента с показателями теплообеспеченности, испаряемости и годовой суммы осадков (табл. 4).

При факторном анализе были выявлены и интерпретированы главные компоненты, а также выполнено третье условие Гаусса-Маркова, при котором между главными компонентами должна отсутствовать парная корреляция, что является необходимым для последующей достоверной классификации объектов районирования.

На следующем этапе выполнен кластерный анализ субъектов в системе координат факторов при последовательном использовании методов иерархической и итеративной кластеризации.

Таблица 4. Факторные нагрузки при выделении двух главных компонент после «варимакс»-вращения системы координат

Переменные			Факторные нагрузки после вращения по номерам главных компонент	
			1	2
Средневзвешенные величины по субъекту	Показатели температурного режима	средний из абсолютных минимумов температуры воздуха, ^{0}С	0,066	**0,986**
		абсолютный минимум температуры воздуха, ^{0}С	0,282	**0,909**
		сумма температур за период с температурой выше 10 ^{0}С	**-0,726**	-0,584
	Показатель континентальности климата по Н.Н. Иванову		**-0,856**	-0,263
	Показатели режима увлажнения	годовая сумма осадков, мм	**0,807**	0,049
		испаряемость за год, мм	**-0,69**	**-0,642**
		годовой показатель увлажнения (M_d)	**0,826**	0,484
		высота снежного покрова (средняя из максимальных), см	0,203	**0,939**
	Баллы продуктивности климата	фактическая нормальная продуктивность ($Ф_н$)	**0,765**	-0,055
		потенциальная продуктивность в условиях обычного увлажнения (П)	-0,018	**-0,925**
		потенциальная продуктивность в условиях оптимального увлажнения ($П_о$)	-0,629	**-0,750**
Запас на 1 га сосновых древостоев при полноте 1,0 и высоте, м^3		10м	**-0,819**	-0,372
		15м	**0,761**	0,338
		20м	**0,808**	0,199
		25м	**0,874**	0,090
		30м	**0,911**	0,179

На дендрограмме, объединяющей стратегии, представлено число кластеров при использовании метода иерархической кластеризации, в результате которой оптимальным будет выделение на территории Центрального федерального округа 4-х кластеров (рис. 3). Однако для того, чтобы достичь точного соотнесения объектов к действительным кластерам был использован метод итеративной кластеризации, зарекомендовавший себя

как наиболее точный (метод *k-средних*). Сложность применения его изначально заключается в отсутствии механизма определения этим методом оптимального количества кластеров. Значения факторов и результат итеративной кластеризации (табл. 5) используются в последующем для проверки достоверности многомерной группировки (классификации без обучения) посредством применения дискриминантного анализа объектов (иначе классификации с обучением).

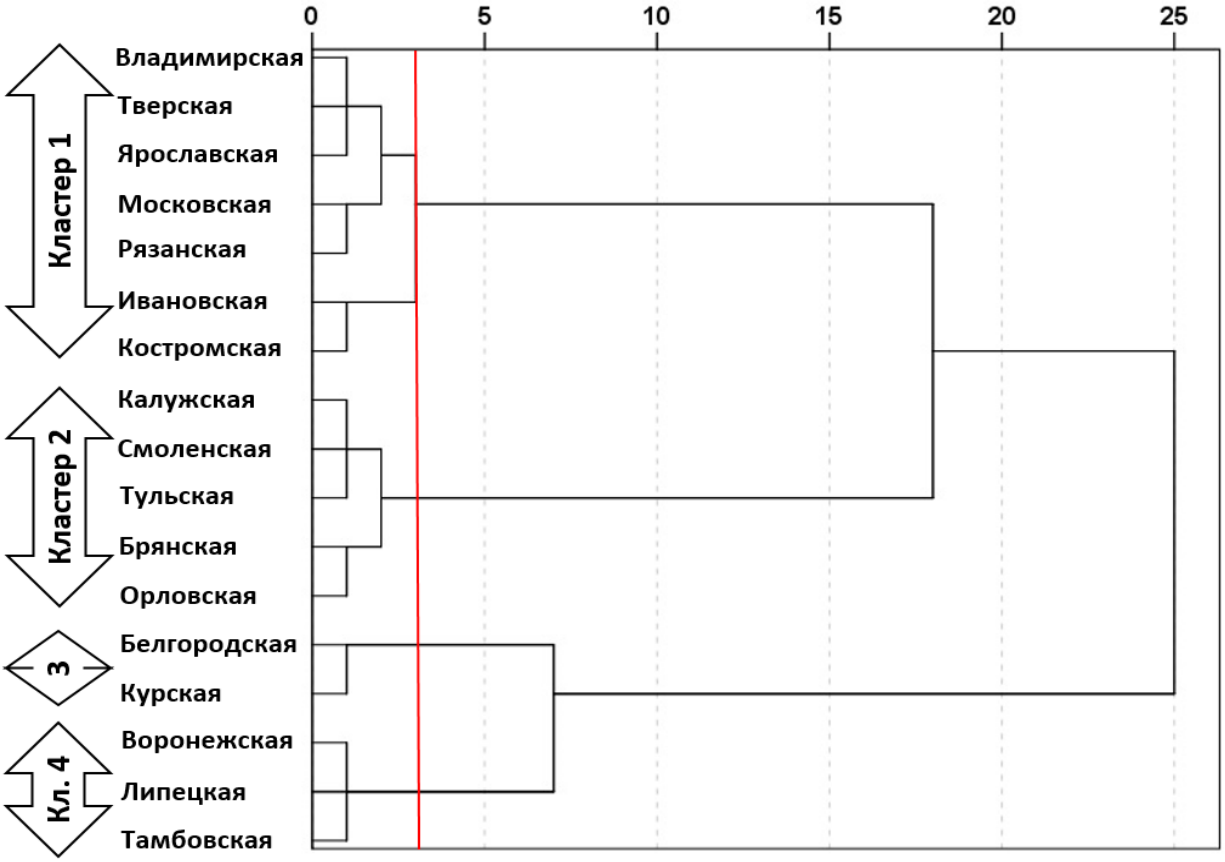

Рис. 3. Дендрограмма иерархической кластеризации (агломеративная стратегия)

По данным кластерного анализа схожие по комплексу анализируемых показателей субъекты ЦФО образуют 4 лесоводственно-климатических района:

1-й: Тверская, Ярославская, Костромская, Московская, Владимирская и Ивановская области;

2-й: Смоленская, Калужская, Тульская, Брянская и Орловская области;

3-й: Рязанская, Липецкая, Тамбовская и Воронежская области;

4-й: Курская и Белгородская области (рис. 4).

Таблица 5. Результат итеративной кластеризации (метод k-средних)

Область	Фактор 1	Фактор 2	Номер кластера	Расстояние до центра кластера
Белгородская	-0,645	-1,769	1	0,082
Брянская	1,362	-1,270	0	0,206
Владимирская	0,501	0,688	2	0,154
Воронежская	-1,791	-0,578	3	0,181
Ивановская	-0,006	1,355	2	0,084
Калужская	1,073	-0,202	0	0,104
Костромская	-0,253	1,955	2	0,260
Курская	-0,370	-1,246	1	0,082
Липецкая	-1,262	-0,242	3	0,051
Московская	-0,049	0,512	2	0,176
Орловская	0,839	-0,935	0	0,114
Рязанская	-0,551	0,175	3	0,264
Смоленская	1,268	-0,193	0	0,125
Тамбовская	-1,895	0,238	3	0,184
Тверская	0,396	0,780	2	0,114
Тульская	0,725	-0,343	0	0,121
Ярославская	0,656	1,075	2	0,150

Достоверность кластерного анализа по комплексу лесоводственно-климатических показателей подтверждается посредством дискриминантного анализа и критериальной оценки нулевой гипотезы: $\mathbf{H_0}$ – различий между лесоводственно-климатическими районами по комплексу анализируемых показателей нет.

В результате дискриминантного анализа осуществлен переход от системы координат факторов к системе координат канонических дискриминантных функций (табл. 6).

Достоверность отнесения объектов к их действительным классам подтверждается расчетными значениями критериев (табл. 7-8). Важнейшим критерием качества классификации являются коэффициенты канонической корреляции, характеризующие взаимосвязь между каноническими дискриминантными функциями и однородными группами объектов в многомерном пространстве. Результаты анализа свидетельствуют о том, что коэффициенты канонической корреляции для двух из двух рассчитанных функций

оказались больше 0,7 (r>0,7), что указывает на действительную разделительную способность функций и достоверное соотнесение объектов к их действительным классам.

Таблица 6. Дискриминантные баллы, определенные посредством построения дискриминантных функций

Область	№ кластера	Предсказанный класс	Дискриминантные баллы (координаты субъектов в системе канонических дискриминантных функций)	
			Функция 1	Функция 2
Белгородская	1	1	-2,286	-3,663
Брянская	0	0	3,004	-3,2
Владимирская	2	2	1,458	1,446
Воронежская	3	3	-4,845	-0,532
Ивановская	2	2	0,418	2,969
Калужская	0	0	2,639	-0,766
Костромская	2	2	0,608	3,875
Курская	1	1	-1,371	-2,69
Липецкая	3	3	-3,343	-0,076
Московская	2	2	0,055	1,032
Орловская	0	0	1,762	-2,22
Рязанская	3	3	-1,413	0,681
Смоленская	0	0	3,151	-0,848
Тамбовская	3	3	-4,831	1,286
Тверская	2	2	1,297	1,473
Тульская	0	0	1,666	-0,873
Ярославская	2	2	2,031	2,108

В совокупности две функции в сумме объясняют 100% дисперсии задействованных в анализе переменных. Кластеризация методом *k-средних* проведена до тех пор, пока не были получены максимальные собственные значения функций, в совокупности с максимальными значениями коэффициентов канонической корреляции. Высокие собственные значения указывают на максимальную дисперсию между группами и минимальную дисперсию внутри групп (табл. 7).

Расположение групп объектов в двумерном пространстве канонических дискриминантных функций может быть представлено их визуализацией по классам (рис.

5). Образованные классы объектов не пересекаются, субъекты распределены на плоскости достаточно близко друг к другу.

Таблица 7. Собственные значения дискриминантных функций

Функция	Собственное значение	% дисперсии переменных, объясняемый функцией	Суммарный % объясняемой дисперсии переменных	Каноническая корреляция
1	7,259	60,8	60,8	0,938
2	4,684	39,2	100	0,908

Одним из вспомогательных критериев оценки качества дискриминантных функций является критерий – *Лямбда-статистики Уилкса*, который позволяет оценить непосредственно остаточную разделительную способность каждой функции при исключении предыдущих. В результате расчета были получены низкие значения критерия Лямбда-статистики, близкие к нулю, что указывает на достоверное разделение объектов каждой отдельно взятой функцией (табл. 8).

Использованием Лямбда-статистики осуществлена аппроксимация некоторой функции от неё распределением χ-квадрат (χ^2), что также является достаточно надежным тестом значимости разделительной способности для каждой из дискриминантных функций. Расчетные значения критерия (табл. 8) оказались больше табличного на 1-процентном уровне значимости, что указывает на существенные различия между выделенными лесоводственно-климатическими районами и позволяет отвергнуть нулевую гипотезу - $\mathbf{H_0}$.

Таблица 8. Лямбда-статистика Уилкса и χ-квадрат Пирсона

Критерий для функций	Лямбда Уилкса	χ-квадрат	χ-квадрат на 1-процентном уровне значимости	Число степеней свободы	Значимость
От 1 до 2	0,021	50,037	16,812	6	0,000
2	0,176	22,590	9,210	2	0,000

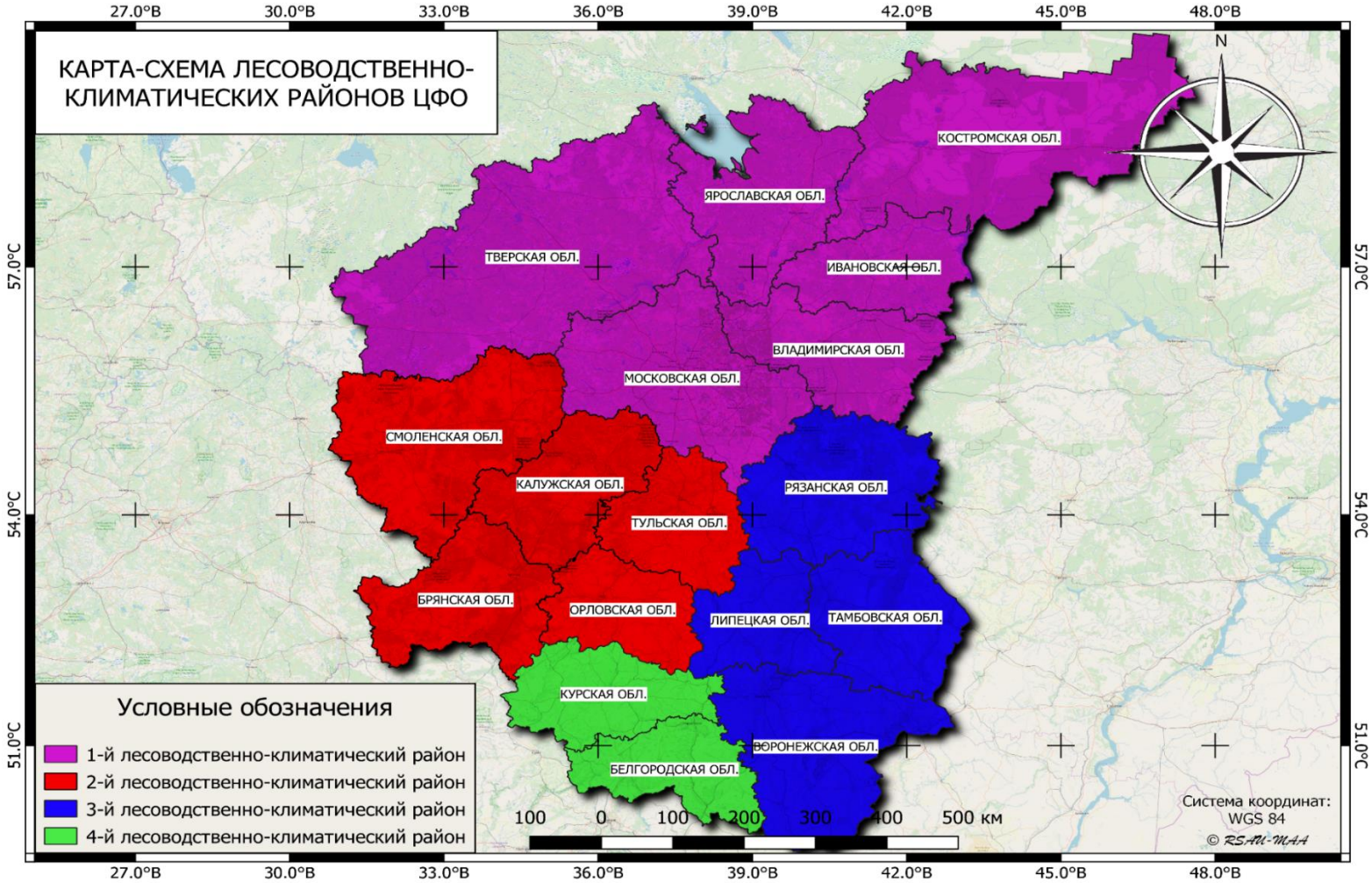

Рис. 4. Карта-схема лесоводственно-климатических районов ЦФО

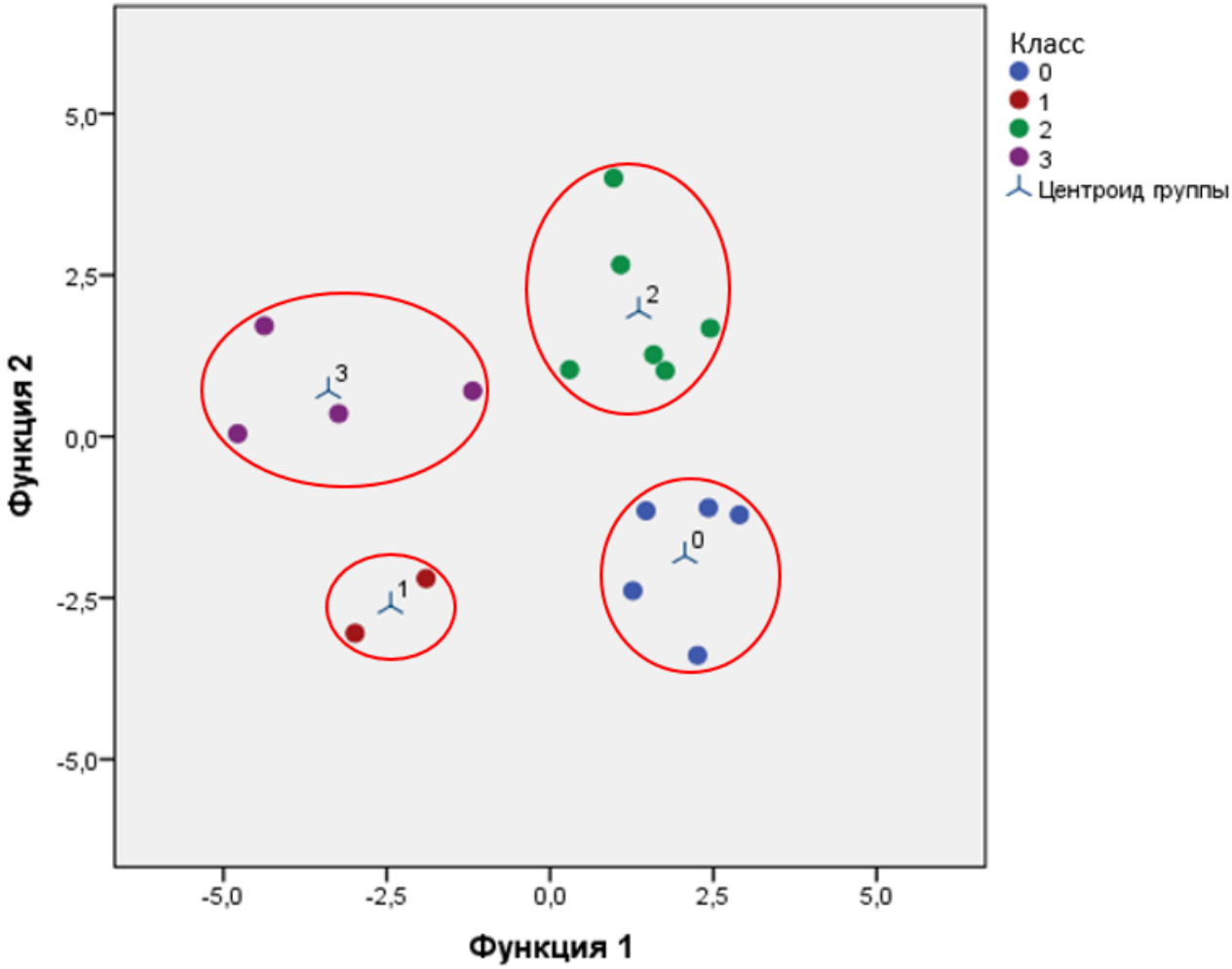

Рис. 5. Расположение объектов в пространстве канонических дискриминантных функций

Выводы

1. В статье предложена статистически обоснованная карта - схема лесоводственно-климатического зонирования территории Центрального Федерального округа РФ.

2. В результате факторного анализа выделено два главных компонента, объясняющих 82,3% дисперсии анализируемых переменных, определяющих потенциальную продуктивность древостоев (первый фактор), так и лимитирующих её (второй фактор).

3. Методами иерархической и итеративной кластеризации субъектов РФ Центрального-Федерального округа выделены 4 лесоводственно-климатических района,

однородных по комплексу анализируемых показателей: I район (северный), объединяющий Тверскую, Ярославскую, Костромскую, Ивановскую, Владимирскую и Московскую области; II район (западный), объединяющий Смоленскую, Калужскую, Тульскую, Орловскую и Брянскую области; III район (юго-восточный), объединяющий Рязанскую, Липецкую, Тамбовскую и Воронежскую области; и IV район (юго-западный), объединяющий Курскую и Белгородскую области.

4. Дискриминантным анализом подтверждена статистическая достоверность выделения отдельных лесных районов. Значения коэффициентов канонической корреляции для рассчитанных дискриминантных функций оказались больше 0,7 ($r>0,7$). Низкие значения Лямбда-статистики Уилкса, близкие к нулю, указывают на надежную разделительную способность отдельной взятой функции при исключении предыдущей. Значения критерия χ-квадрат больше теоретического на 1-процентном уровне значимости подтверждают достоверность различий между образованными в результате кластеризации однородными группами субъектов ЦФО.

5. Предложенная методика многомерной классификации субъектов РФ по показателям климата и продуктивности основной лесообразующей породы позволила получить статистически достоверную схему районирования территории Центрального федерального округа, являющуюся альтернативой принятому лесорастительному зонированию крупных территориальных образований [12].

Список использованных источников

1. Беляев В. В., Кутинов Ю.Г., Левачев А. В., Чистова З. Б. Влияние геоэкологических факторов среды на агроклиматические условия роста лесных и сельскохозяйственных культур в Архангельской области // Arctic Evironmental Research. 2007. №2. [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geoekologicheskih-faktorov-sredy-naagroklimaticheskie-usloviya-rosta-lesnyh-i-selskohozyaystvennyh-kultur-v-arhangelskoy (дата обращения: 02.03.2020).

2. Годовалов Г. А., Залесов С. В., Лежнина Е. Н. Районирование лесов Свердловской области // АВУ. 2011. №8. [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rayonirovanie-lesov-sverdlovskoy-oblasti (дата обращения: 01.03.2020).

3. Добровольский Г.В. Избранные труды по почвоведению. Т. 2. Генезис и география почв России и сопредельных стран. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 466 с.

4. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 416 с.

5. Зиновьева И. С. Общее и особенное в территориальном распределении и экономическом использовании лесных ресурсов России // Социально-экономические явления и процессы. 2013. №11 (057). [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obschee-i-osobennoe-v-territorialnom-raspredelenii-i-ekonomicheskom-ispolzovanii-lesnyh-resursov-rossii (дата обращения: 01.03.2020).

6. Кашпор Н. Н., Мартынюк А. А., Желдак В. И., Сидоренков В. М., Трушина И. Г., Кудряшов П. В., Солонцов О. Н. Схема лесного районирования Российской Федерации // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/shema-lesnogo-rayonirovaniya-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 29.02.2020).

7. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР [Текст] / АН СССР. Лаб. лесоведения. - Москва: Наука, 1973. - 203 с.

8. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. N 200-ФЗ (ред. от 27.12.2018) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299 (дата обращения: 29.02.2020).

9. Материалы по природно-экономической характеристике сельскохозяйственных микрорайонов СССР: (Опыт деления с.-х. территории СССР на микрорайоны в целях специализации и размещения сельского хозяйства) / Госэкономсовет СССР. Совет по изучению производит. сил. Сектор экон. оценки земельных ресурсов и проблем размещения с.-х. производства; Ред. коллегия: акад. В. С. Немчинов и др. - Москва: Экономиздат, 1962. - 1 т.; 1000с.

10. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Георгий Николаевич Высоцкий (к 150-летию со дня рождения) // Устойчивое лесопользование. 2015. №4(44). [Электронный ресурс] URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34958008 (дата обращения: 29.02.2020).

11. Николаев Д. К., Глазунов Ю. Б. Особенности повреждения снеголомом древостоев сосны и ели // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2010. №3. [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-povrezhdeniya-snegolomom-drevostoev-sosny-i-eli (дата обращения: 06.03.2020).

12. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 N 367 (ред. от 19.02.2019) "Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 29.09.2014 N 34186) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс] URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/ (дата обращения: 09.03.2020).

13. Хлюстов В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели–нормативы-технологии <Книга I> // РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. – 389 с.

14. Хлюстов В.К., А.М. Ганихин, Д.В. Хлюстов Ресурсно-экологическое районирование и государственная инвентаризация лесов: учебное пособие // РГАУ- МСХА

==========

им. К. А. Тимирязева - Электрон. текстовые дан. 2018 - 185 с. [Электронный ресурс] URL: http://elib.timacad.ru/dl/local/umo352.pdf/view (дата обращения: 01.03.2020).

15.Чернов Н.Н. Творческий вклад Е.П. Смолоногова в разработку Теоретических основ районирования лесов (к 180-летию уральского лесоустройства) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2010. №5. [Электронный ресурс] URL:http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/0e7/dqdhooulvamwbw1.pdf (дата обращения: 01.03.2020).

==========

Цитирование:

Хлюстов В.К., Васенев И.И., Ганихин А.М. Районирование территории ЦФО по комплексу лесоводственно-климатических показателей // АгроЭкоИнфо. – 2020 №2. - http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/2/st_206.pdf