

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ В ЛИНЕЙНОМ ПРИРОСТЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ БОРЕАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

А.Е. Кухта^{1, 2)}, Е.Н. Попова¹⁾*

¹⁾ Институт географии РАН,
Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4,
*адрес для переписки: anna_koukhtha@mail.ru

²⁾ Институт глобального климата и экологии им. Академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, Москва, Глебовская ул., 20б

Резюме. Измерение линейных приростов сосны лапландской (подвида сосны обыкновенной) проводили в комплексном заказнике регионального значения «Полярный круг», расположенном на побережье Кандалакшского залива Белого моря. Цель данной работы состояла в выявлении климатического сигнала в линейных приростах, а также параметров изменчивости размеров междоузлий в различных по условиям увлажнения местообитаниях сосны. Объектом измерения служили междоузлия стволов. Оценка зависимостей индексов приростов от метеорологических аномалий проводилась методом корреляционного анализа; изменчивость параметров приростов оценивалась путем вариационного анализа. Выявлены значимые отрицательные зависимости приростов от месячных сумм осадков в текущем, а также предыдущем вегетационном сезонах во всех типах местообитаний. Получены параметры изменчивости рядов приростов, сходные для сухих, свежих и влажных биотопов. Сделан вывод о роли избытка осадков как лимитирующего рост древостоев сосны фактора, независимо от условий произрастания исследуемой популяции.

Ключевые слова. Прирост, воздействие климата, изменчивость, сумма осадков, сосна обыкновенная, биотопы.

Введение

В настоящее время одной из актуальных научных проблем является проблема оценки и прогноза воздействия изменений климата на растительность и, в частности, на лесные экосистемы. Индексированные ряды приростов деревьев (как кольцевых, так и линейных) – важные показатели взаимодействия климатической системы и лесных биотопов. Для оценки состояния лесных биогеоценозов как в прошлом, так и в настоящее время широко применяется метод дендрохронологии, включающий изучение кольцевого и линейного приростов (Кухта, Румянцев, 2010; Solomina et al., 2016). Древесные хронологии показывают интегрированные отклики древостоев на воздействия климатических факторов – температуры и сумм осадков.

Анализ среднегодовых и сезонных рядов метеорологических данных не обнаруживает сопряженности динамик значений температур и осадков (в частности, на северо-западе Европейской территории России). Следствием отсутствия корреляции региональных трендов осадков и температур является наблюдаемая мозаичность откликов фитоценозов на воздействие климатических факторов в бореальных экосистемах (Тишков, Кренке, 2015). Как показывают ранее проведенные исследования, среди измеряемых метеопараметров наибольшая зависимость степени variability приростов связана с осадками вегетационного периода предыдущего года (Рысин, 1982; Черногаева, Кухта, 2018).

Следует отметить, что внимание исследователей, в основном, обращено на оценку роста деревьев в ширину и выявление климатических сигналов в хронологиях, построенных на основании рядов годичных колец. Так, в целом ряде статей подчеркивается прямая зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от осадков вегетационного периода, а также географическая неоднородность отклика подобных рядов на климатические воздействия (Демежко, Соломина, 2009; Bradley, 2015; Herrero et al., 2013; Janson et al., 2013). Воздействие климатических факторов на линейные приросты деревьев изучено в гораздо меньшей степени, хотя подобные немногочисленные исследования существуют. Например, в работе (Misi et al., 2019) обсуждаются выявленное доминирование осадков прошлого июля и сентября. Кроме того, отмечен большой разброс откликов приростов в разных популяциях сосны. Однако поиски закономерностей, формирующих приросты в различающихся по степени влагообеспеченности местообитаниях, не проводились.

Таким образом, представляется достоверным, что во многих экосистемах лимитирующим рост деревьев фактором является количество осадков. При этом влагообеспеченность фитоценозов в одних и тех же климатических, но неодинаковых локальных условиях различается вследствие мозаичности микро- и мезорельефа. По этой причине климатические сигналы в рядах приростов древостоев из разных местообитаний несходны (Демежко, Соломина, 2009; Кухта, Румянцев, 2010; Кухта, Титкина, 2005; Черногаева, Кухта, 2018). Следовательно, при оценке отклика рядов приростов деревьев на количество осадков необходимо учитывать тип местообитания.

Цель данной работы состояла в выявлении климатического сигнала в линейных приростах, а также параметров изменчивости размеров междоузлий в различных по условиям увлажнения местообитаниях сосны лапландской (*Pinus sylvestris* ssp. *lapponica* Fr. ex Hartm.) комплексного заказника регионального значения «Полярный круг».

Материал и методика исследования

Исследования проходили в комплексном заказнике регионального значения «Полярный круг» (мыс Киндо), расположенном на побережье Кандалакшского залива Белого моря (66°34' N, 33°08' E). В системе геоботанического районирования флора заказника относится к Кольско-Карельской подпровин-

ции Североевропейской таежной провинции (Геоботаническое районирование..., 1989). Таёжный биом в основном представлен северными хвойными лесами; широко распространена интразональная болотная растительность.

Согласно климатическому районированию Б.П. Алисова (Алисов, 1956), мыс Киндо относится к области атлантического и арктического влияния. Среднегодовая температура воздуха составляет 0.5°C. Среднегодовое количество осадков равно 390-420 мм; средняя величина испарения не превышает 150 мм/год. Район характеризуется избыточной влажностью (Алисов, 1956; Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Биофака МГУ им. М.В. Ломоносова).

Почвы района исследований принадлежат к подзолисто-буроземному, болотно-подзолисто-болотному типам. Разнообразие форм рельефа и почвообразующих пород обуславливает высокую степень неоднородности почвенного покрова и мозаичности распространения типов фитоценозов (Сохранение ценных природных территорий..., 2011).

Согласно Л.С. Бергу (1947), средообразующим фактором таежных биогеоценозов является гумидный климат, а также ландшафт, формируемый микро- и мезорельефом. Высокий уровень варибельности и мозаичности ландшафтных разностей обуславливает здесь многообразие фитоценозов, характеризующихся различными условиями увлажнения и эдафическим разнообразием.

Основной лесообразующей породой является подвид сосны обыкновенной – сосна лапландская *Pinus sylvestris* ssp. *lapponica* Fr. ex Hartm. (Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. 2007-2020.). Сосняки, в зависимости от характеров эко- и эдафотопов, представлены лишайниковыми (*Pineta sylvestris cladinoso*), лишайниково-зеленомошными (*Pineta sylvestris hylocomioso-cladinoso*), зеленомошными (*Pineta sylvestris fruticuloso-hylocomioso*), долгомошно-сфагновыми (*Pineta sylvestris polytrichoso-sphagnosa*) и кустарничково-сфагновыми (*Pineta sylvestris fruticuloso-sphagnosa*) борами. В соответствии с классической типологией В.Н. Сукачёва (1944), боры лишайниковые произрастают в сухих экотопах, боры зеленомошные – в свежих биотопах, боры долгомошно-сфагновые и кустарничково-сфагновые – во влажных местообитаниях (рис. 1а, б, в). Сосняки-беломошники растут на сухих песчаных и каменистых почвах. На наиболее плодородных почвах, в оптимальных условиях увлажнения, распространены сосняки-зеленомошники, представленные черничниками и кисличниками. Сфагновые сосняки приурочены к грядово-мочажинным и бугристым болотам, для которых характерны пониженная кислотность и бедность питательными элементами корнеобитаемого слоя, а также более низкая (по сравнению с другими экотопами) температура (База данных «Ценофонд Европейской России»).

Объектом измерения служили деревья сосны лапландской. Линейный прирост измерялся у экземпляров высотой не ниже 1 м и не выше 2.5 м (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009; Кухта, Румянцев, 2010). Учитывались приросты 1982-2007 гг. Измерялись междоузлия стволиков с верхнего (прироста текущего года) до последнего уверенно выделяемого у комля. Ряды приростов

индексировались стандартным, принятым в дендрохронологии методом, путем деления абсолютных значений приростов каждого года на скользящее среднее по 5 годам. Подобная процедура применяется для удаления возрастного тренда и получения годичных отклонений от хода роста. Затем полученные таким образом значения осреднялись по пробным площадям (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009).



Рисунок 1. Типы местообитаний, в которых проводились измерения прироста сосны
1а) влажное местообитание, 1б) свежее местообитание, 1в) сухое местообитание

Показателем изменчивости в данном исследовании являлись коэффициенты вариации рядов индексов прироста. Оценка зависимостей индексов линейных приростов от метеорологических аномалий проводилась методом корреляционного анализа; изменчивость параметров приростов оценивалась путем вариационного анализа (Большев, Смирнов, 1983). Массивы метеорологических данных (месячные суммы осадков вегетационных сезонов) были любезно предоставлены нам сотрудниками отдела мониторинга и вероятностного прогноза климата ФГБУ «ИГКЭ имени академика Ю.А. Израэля». Для статистического анализа использовался пакет Excel 2016.

Результаты исследования и дискуссия

Для выявления отклика рядов приростов сосны лапландской заказника «Полярный круг» на воздействие осадков апреля-сентября текущего и предыдущего вегетационных сезонов был проведен корреляционный анализ рядов индексов приростов сосновых деревьев данной особо охраняемой природной территории (ООПТ) и рядов аномалий месячных сумм осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов. Вовлечение в анализ сумм осадков предшествующего года необходимо, поскольку для прироста текущего года важны размеры и качество апикальных почек, заложенных в предыдущем году, а также количество хвои прошлых лет, осуществляющей донорские функции по отношению к рассматриваемому побегу (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009; Кухта, Румянцев, 2010). Результаты анализа для уровня достоверности 90% представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значимые коэффициенты корреляции рядов индексов приростов сосны лапландской и аномалий сумм осадков для текущего и предыдущего вегетационных сезонов

Сухие биотопы		Свежие биотопы		Влажные биотопы	
Предыдущий год	Текущий год	Предыдущий год	Текущий год	Предыдущий год	Текущий год
-0.36 (июль)	-	-	-0.37 (июнь) -0.37 (июль)	-0.44 (май) -0.33 (июнь)	-

Судя по результатам корреляционного анализа, представленным в табл. 1, сосняки заказника «Полярный круг», произрастающие в сухих, влажных и свежих местообитаниях, показывают значимые отрицательные зависимости приростов от месячных сумм осадков на ключевых этапах развития междуузлий (линейных приростов) в текущем сезоне, а также почек возобновления в предыдущем вегетационном сезоне. Как в сухих, так и во влажных местообитаниях отмечены отрицательные зависимости приростов от количества осадков предыдущего года, что означает негативное воздействие излишков влаги на формирование почек возобновления. В свежих биотопах отрицательная зависимость получена для осадков текущего года, что говорит о тормозящем рост междуузлий воздействии.

Подобный характер откликов древостоев заказника «Полярный круг» не схож с полученными нами ранее в иных районах исследований параметрами

откликов сосняков на количество осадков. Так, для древостоев сосны обыкновенной Керженского государственного природного биосферного заповедника, расположенного в Среднем Поволжье, в Нижегородской области, на территории Борского и Семёновского районов ($56^{\circ}37'$ с. ш. $44^{\circ}16'$ в. д.), во влажных биотопах выявлена прямая значимая зависимость приростов от сумм осадков в июне и июле текущего года ($R = 0.37$, $R = 0.38$ соответственно). В свежих биотопах отмечена прямая корреляция линейного прироста от осадков в июне текущего года, а обратная – в сентябре предыдущего года ($R = 0.51$, $R = -0.44$ соответственно) (Кузнецова и др., 2020).

Похожие результаты получены для сосняков Раифского участка Волжско-Камского государственного природного заповедника, расположенного также в Среднем Поволжье, и на территории Зеленодольского района республики Татарстан ($55^{\circ}18'$ с. ш. $49^{\circ}17'$ в. д.). Здесь обнаружена значимая зависимость линейных приростов сосны от количества осадков июня предыдущего года ($R = 0.7$), а также от осадков мая текущего года ($R = 0.6$) (Кузнецова и др., 2020; Кухта, Титкина, 2005).

Обе ООПТ Среднего Поволжья находятся в сходных географических и экологических условиях. Заповедники относятся к юго-восточной подобласти атлантико-континентальной европейской климатической области, для которой характерна высокая амплитуда температур; климат является переходным от гумидного к семиаридному (Алисов, 1956). Видимо, климатическое и экологическое сходство двух ООПТ обуславливает наличие общей для исследованных древостоев закономерности (прямых зависимостей приростов от сумм осадков), причиной которой является дефицит влаги при прохождении фазы роста междуузлий. Однако отмечены и различия климатических сигналов: в Керженском заповеднике на этапе формирования почек возобновления (сентябрь) отклик приростов свидетельствует об избытке осадков; при этом для Волжско-Камского заповедника отрицательных зависимостей приростов и осадков не выявлено. Очевидно, расположение Раифского участка заповедника на южной границе ареала сосны обыкновенной является причиной нехватки доступной для сосны влаги как в течение фазы роста междуузлий в текущем году, так и фазы формирования и развития почки возобновления в предыдущем вегетационном сезоне.

В отличие от экосистем Поволжья, фитоценозы побережья Белого моря, относящиеся, как было указано ранее, к области атлантического и арктического влияния, находятся в условиях избыточного увлажнения (Алисов, 1956). Этим, очевидно, объясняется наличие лишь отрицательных значимых зависимостей приростов сосны от количества осадков.

С целью проверки данного предположения для заказника «Полярный круг», а также для Керженского и Волжско-Камского заповедников были рассчитаны гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и упрощенный индекс сухости Будыко (ИС) (средние за период 1991-2010 гг.). ГТК дает оценку совокупного влияния температуры и влажности, ИС показывает степень засушливости на изучаемой территории. Чем выше ГТК Селянинова, тем выше увлажненность территории (Селянинов, 1928); чем больше ИС, тем

засушливее территория (Оценочный доклад..., 2008). Указанные параметры широко применяются для оценки степени влагообеспеченности фитоценозов в сельском и лесном хозяйстве. Рассчитанные значения ГТК и ИС представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) и упрощенного индекса сухости Будыко (ИС) для заказника «Полярный круг», а также для Керженского и Волжско-Камского заповедников

ООПТ	ГТК	ИС
Заказник «Полярный круг»	2.50	0.36
Керженский заповедник	1.37	0.66
Волжско-Камский заповедник	1.10	0.83

Результаты расчетов, представленные в табл. 2, подтверждают высказанное ранее предположение. Значения ГТК и ИС для Керженского и Волжско-Камского заповедников указывают на пониженную, по сравнению с заказником «Полярный круг», увлажненность в их экосистемах, обусловленную особенностями климата, переходного от гумидному к семиаридному (Алисов, 1956). При этом Волжско-Камский заповедник характеризуется бóльшим дефицитом осадков, чем Керженский, что отражает характер климатического сигнала рядов приростов сосны рассматриваемых ООПТ (отсутствие отрицательных зависимостей приростов от осадков на территории Татарстана). В отличие от Среднего Поволжья, в районе расположения заказника «Полярный круг» регистрируется избыток влаги во всех типах местообитаний, негативно влияющий на рост и развитие кроны сосны. Полученные результаты соответствуют основополагающему закону экологии – закону Шелфорда, согласно которому как недостаток, так и избыток ресурса лимитирует развитие организма или популяции.

Обнаруживаемый климатический сигнал – отклик приростов на воздействие осадков – характеризует модификационную изменчивость сосны лапландской в пределах нормы реакции вида. Выявление зависимости вариабельности размеров междоузлий от степени увлажненности местообитаний обеспечивает корректность оценки изучаемого отклика на воздействие осадков. С целью решения данной задачи были сформированы массивы значений коэффициентов вариации (показателей годичной изменчивости) приростов для каждого из типов местообитаний. Анализ данных заключался в вычислении среднего значения и стандартного отклонения рядов коэффициентов вариации во всех типах биотопов. В табл. 3 представлены результаты вычисления этих величин для полученных массивов данных.

Таблица 3. Средние значения и стандартные отклонения рядов коэффициентов вариации годичных линейных приростов сосны лапландской заказника «Полярный круг»

Сухие биотопы		Свежие биотопы		Влажные биотопы	
Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
0.999	0.090	0.992	0.087	0.999	0.100

Из представленной таблицы видно, что средние значения вариабельности прироста для сухих, свежих и влажных биотопов, так же, как и стандартные отклонения рядов коэффициентов вариации, практически не различаются. Характер модификационной изменчивости размеров междуузлий сосны лапландской на данной ООПТ в сухих, влажных и свежих биотопах сходен и определяется нормой реакции вида на избыточное увлажнение во всех типах местообитаний. Таким образом, в исследуемом районе количество осадков является лимитирующим фактором для роста *P. sylvestris* ssp. *lapponica* независимо от типа местообитания.

Заключение

Для деревьев сосны лапландской комплексного заказника регионального значения «Полярный круг» обнаружены значимые отрицательные зависимости рядов индексов приростов от сумм осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов. Выявленный климатический сигнал свидетельствует об избытке осадков, сдерживающем рост междуузлий и почек возобновления сосны, что подтверждается значениями ГТК и ИС. При этом параметры изменчивости приростов сходны для сухих, свежих и влажных биотопов. Таким образом, на побережье Белого моря избыток атмосферных осадков в древостоях сосны играет роль лимитирующего фактора, независимо от условий произрастания исследуемой популяции.

Работа выполнена в рамках темы ФНИ гос. задания ФГБУН «ИГ РАН» № 0148-2019-0009, АААА-А19-119022190173-2: «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России».

Список литературы

- Алисов Б.П. 1956. Климат СССР. – М., Изд-во Моск. ун-та, 128 с.
- База данных «Ценофонд Европейской России». <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/princip.htm>, дата обращения 02.05.2020.
- Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Биофака МГУ им. М.В. Ломоносова. – Электронный ресурс. URL: <http://wsbs-msu.ru> (дата обращения 03.05.2020).
- Берг Л.С. 1947. Географические зоны Советского Союза. – Москва, ОГИЗ. Государственное издательство географической литературы, 397 с.
- Большев Л.Н., Смирнов Н.В. 1983. Таблицы математической статистики. – М., Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 415 с.
- Геоботаническое районирование Нечерноземья Европейской части РСФСР. / Под ред. Александровой В.Д., Юрковской Т.К. 1989. – Л., Наука, Ленинградское отделение, 63 с.
-

Демежко, Д.Ю., Соломина, О.Н. 2009. Изменения температуры земной поверхности на о. Кунашир за последние 400 лет по геотермическим и древесно-кольцевым данным. – Доклады Академии наук, т. 426(2), с. 1-4.

Кухта А.Е. 2009. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива. – Лесной вестник, Издательство МГУЛ, №1(64), с. 61-67.

Кухта А.Е., Румянцев Д.Е. 2010. Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центральном-Лесном государственных природных заповедниках. – Лесной вестник (Forestry bulletin), № 3, с. 88-95.

Кухта А.Е., Титкина С.Н. 2005. Климатогенные колебания линейного прироста ювенильных растений сосны обыкновенной в модельных древостоях в Пензенской области. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, Гидрометеиздат, т. XX, с. 251-261.

Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Кухта А.Е. 2020. Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в лесах Керженского заповедника. – Известия РАН. Серия географическая, № 1, с. 93-102.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Том 2. Последствия изменений климата. – М., Росгидромет, 287 с.

Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. 2007-2020. – Электронный ресурс. URL: <http://www.plantarium.ru> (дата обращения 21.03.2020).

Селянинов Г.Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата. – Труды по сельскохозяйственной метеорологии, вып. 20, с. 165-177.

Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга./ Под ред. Кобякова К.Н. 2011. – СПб., 506 с.

Сукачев В.Н. 1944. О принципах генетической классификации в биоценологии. – Журн. общ. Биологии, т. 5, № 4, с. 213-227.

Рысин Л.П. 1982. Лесная типология в СССР. – М., Наука, 217 с.

Тишков А.А., Кренке-мл. А.Н. 2015. «Позеленение» Арктики в XXI веке как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения. – Арктика: экология и экономика, №4, с. 28-38.

Черногаева Г.М., Кухта А.Е. 2018. Отклик бореальных древостоев на современные изменения климата на севере Европейской части России. – Метеорология и гидрология, М., Планета, № 6, с. 111-119.

Bradley R.S. 2015. Paleoclimatology: Reconstructing climates of the Quaternary. Third edition. – UK. Elsevier, 696 p.

Herrero A., Rigging A., Zamora R. 2013. Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus Silvestris* and *P. nigra*. – *Forest Ecology and Management*, vol. 308. pp. 50-61.

Janson A., Matisons R., Baumanis I., Purina L. 2013. Effects of Climatic Factors on Height Increment of Scots Pine in Experimental Plantation in Kalsnava, Latvia. – *Forest Ecology and Management*, vol. 306. pp. 185-191. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.039>

Misi D., Puchalka R., Pearson Ch., Robertson I., Koprowski M. 2019. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: a Case Study from Poland and Hungary. – *Forests*, vol. 10(3), pp. 243. <https://doi.org/10.3390/f10030243>.

Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhaleiko V., Matskovsky V. 2016. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium. – *Global and Planetary Change*, vol. 140. pp. 28-58. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.

Статья поступила в редакцию: 30.07.2020 г.

После переработки: 08.08.2020 г.

CLIMATIC SIGNAL IN SCOTS PINE LINEAR INCREMENT IN BOREAL PHYTOCENOSIS OF WHITE SEA COAST

A.E. Koukhtha^{1, 2)*}, *E.N. Popova*¹⁾

¹⁾ Institute of Geography of Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation

²⁾ Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation,
*corresponding author: anna_koukhtha@mail.ru

Abstract. Scots pine linear increment measuring were fulfilled on the “Polar Circle” natural area which is placed on the White sea Kandalaksha bay coast. The issue was focused on linear increment climatic signal detecting, so as on interstices variability evaluation in differing by humidification conditions pine habitats. The caudex internodes were an object of measuring. The detecting of increment indexes response on perennial meteorological anomalies was proceeded using correlation analysis method; increment parameters variability was evaluated by means of variance analysis. In all biotopes types significant negative correlation between increment series and monthly precipitation sums in current as well as previous vegetation seasons were revealed. Increment series variability parameters, similar in dry, humid and moderate biotopes are obtained. A conclusion about precipitation overbalance role as a limiting factor for pine stands growth irrespectively of target population vegetation conditions is drawn.

Keywords. Increment, climat impact, variability, precipitation, Scots pine, biotopes.

References

Alisov B.P. 1956. *Klimat SSSR* [Climate of the USSR]. Moscow. Izd-vo. Mosk. un-ta, 128 p.

Baza dannyh «Cenofond Evropejskoj Rossii» [Data base “Coenofund of European Russia]. Available at <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/princip.htm>, data obrashcheniya 02.05.2020.

Belomorskaya biologicheskaya stanciya im. N.A. Pertzova Biofaka MGU im. M.V. Lomonosova [N.A. Pertzov White Sea Biological Station of the Biological Faculty of M.V. Lomonosov MSU]. Available at: <http://wsbs-msu.ru/> (accessed 03.05.2020).

Berg L.S. 1947. *Geograficheskie zony Sovetskogo Soyuza* [Geographical zones of the Soviet Union]. Moscow, 397 p.

Bol'shev L.N., Smirnov N.V. 1983. *Tablicy matematicheskoy statistiki* [Tables of the Mathematical Statistics]. Moscow, Nauka, 415 p.

Geobotanicheskoe rajonirovanie Nechernozem'ya Evropejskoj chasti RSFSR 1989 [Goebotanical Zoning of the Russian Federation European Part Non-Black

Earth Belt]. Pod red. Aleksandrovoj V.D., Yurkovskoj T.K. Leningrad. «Nauka». Leningradskoe otdelenie, 63 p.

Demezhko, D.Yu., Solomina, O.N. 2009. Izmeneniya temperatury zemnoj poverhnosti na o. Kunashir za poslednie 400 let po geotermicheskim i drevesno-kol'cevym dannym [Changes in the Temperature of the Earth's Surface on o. Kunashir for the Last 400 Years on Geothermal and Tree-ring Data]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, vol. 426 (2), pp. 1-4.

Kuhta A.E. 2009. Vliyanie temperatury i osadkov na godichnyj linejnyj prirost sosny obyknovnoj na beregah Kandalakshskogo zaliva [Influence of Temperature and Precipitation on the Annual Linear Growth of Scots Pine on the Shores of the Kandalaksha Bay]. *Lesnoj vestnik – Forestry Bulletin*, no. 1(64), pp. 61-67.

Koukhta A.E., Rumyancev D.E. 2010. Linejnyj i radial'nyj prirosty sosny obyknovnoj v Volzhsko-Kamskom i Central'no-Lesnom gosudarstvennyh prirodnyh zapovednikah [Linear and Radial Growth of Scots Pine in the Volga-Kama and Central Forest State Nature Reserves]. *Lesnoj vestnik – Forestry Bulletin*, no. 3, pp. 88-95.

Koukhta A.E., Titkina S.N. 2005. Klimatogennye kolebaniya linejnogo prirosta yuvenil'nyh rastenij sosny obyknovnoj v model'nyh drevostoyah v Penzenskoj oblasti [Climatogenic Fluctuations of Linear Growth of Juvenile Plants of Scots Pine in Model Stands in the Penza Region]. *Problemy Ekologicheskogo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem – Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XX, pp. 251-261.

Kuznecova V.V., Chernokul'skij A.V., Kozlov F.A., Koukhta A.E. 2020. Svyaz' linejnogo i radial'nogo prirosta sosny obyknovnoj s osadkami raznogo genezisa v lesah Kerzhenskogo zapovednika [Relationship of Linear and Radial Growth of Scots Pine with Precipitation of Different Genesis in the Forests of the Kerzhensky Reserve]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya – the Proceedings of the Academy of Sciences. Geographical Series*, no. 1, pp. 93–102.

Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. 2008. [Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation]. Volume 2. Posledstviya izmenenij klimata – Effects of Climate Change. Moscow, Rosgidromet, 287 p.

Plantarium: otkrytyj onlajn atlas-opredelitel' rastenij i lishajnikov Rossii i sopredel'nyh stran 2007-2020. [Plantarium: Free Online Atlas of Plants and Lichens in Russia and Neighboring Countries]. Available at: <http://www.plantarium.ru/>. (accessed 21.03.2020).

Selyaninov G.T. 1928. O sel'skohozyajstvennoj ocenke klimata [On the Agricultural Assessment of Climate]. *Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii – Proceedings on agricultural meteorology*, vol. 20, pp. 165–177.

Sokhranenie cennyh prirodnyh territorij Severo-Zapada Rossii. Analiz reprezentativnosti seti OOPT Arhangel'skoj, Vologodskoj, Leningradskoj i

Murmanskoj oblasti, Respubliki Karelii, Sankt-Peterburga. 2011. [Preservation of Valuable Natural Territories of the North-West of Russia. Analysis of the Representativeness of the Network of Protected Areas in the Arkhangelsk, Vologda, Leningrad and Murmansk Regions, the Republic of Karelia and St. Petersburg]. Kollektiv avtorov. Pod red. Kobyakova K.N. St. Peterburg, 506 p.

Sukachev V.N. 1944. O principah geneticheskoy klassifikacii v biocenologii [Principles of Genetic Classification in Biocenology]. *Zhurn. obshch. Biologii – Journal of General Biology*, vol. 5, no. 4, pp. 213-227.

Rysin L.P. 1982. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest Typology in the USSR]. Moscow. Nauka, 217 p.

Tishkov A.A., Krenke-ml. A.N. 2015. «Pozelenenie» Arktiki v HHI veke kak effekt sinergizma dejstviya global'nogo potepleniya i hozyajstvennogo osvoeniya ["Greening" of Arctic in the XXI Century as a Synergistic Effect of Global Warming and Economic Development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika – Arctic: Ecology and Economy*, no. 4, pp. 28-38.

Chernogaeva G.M., Koukhtha A.E. 2018. Otklik boreal'nyh drevostoev na sovremennye izmeneniya klimata na severe Evropejskoj chasti Rossii [Response of Boreal Stands to Modern Climate Changes in the Northern European Part of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*. no. 6, pp. 111-119.

Bradley R.S. 2015. *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the Quaternary*. Third edition. – UK. Elsevier, 696 p.

Herrero A., Rigging A., Zamora R. 2013. Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus Silvestris* and *P. nigra*. – *Forest Ecology and Management*, vol. 308, pp. 50-61.

Janson A., Matisons R., Baumanis I., Purina L. 2013. Effects of Climatic Factors on Height Increment of Scots Pine in Experimental Plantation in Kalsnava, Latvia. – *Forest Ecology and Management*, vol. 306, pp. 185-191. – Available at: [https://doi.org/10.1016/j.\(accessed 2013.06.039\)](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.039).

Misi D., Puchalka R., Pearson Ch., Robertson I., Koprowski M. 2019. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: a Case Study from Poland and Hungary. – *Forests*, vol. 10(3), p. 243. – Available at: <https://doi.org/10.3390/f10030243>.

Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhalenko V., Matskovsky V. 2016. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium. – *Global and Planetary Change*, vol. 140, pp. 28-58. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.