

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА ГОДИЧНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА БЕРЕГАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА

А.Е. КУХТА, *вед. науч. сотр. Института глобального климата Росгидромета и РАН,
канд. биол. наук*

anna_koukhtha@mail.ru

Процесс роста растений существенным образом зависит от состояния внешней среды, определяемого в том числе климатическими условиями. В частности, в литературе отмечалась тесная зависимость роста побегов, корней, фотосинтеза и продукции деревьев от температуры и количества доступной влаги [4; 12; 13; 16; 17; 23]. Вместе с тем связи характеристик роста древесных растений и значений метеорологических переменных в настоящее время изучены недостаточно.

Целью данной работы являлся поиск и анализ зависимостей прироста подроста сосны обыкновенной от температуры и осадков в текущем и предыдущем годах, а также определение климатических факторов, наиболее важных для формирования прироста сосны берегов Кандалакшского залива Белого моря (Мурманская область).

Мурманская область находится в Атлантико-Арктической климатической области умеренного пояса, ее климат морской, складывающийся в значительной степени

под влиянием теплого Мурманского течения. Это зона избыточного увлажнения [7, 24].

Побережье и острова Кандалакшского залива лежат в Кольско-Печорской подпровинции Евроазиатской таежной области, в Североевропейской флористической провинции, на стыке трех флористических районов: Имандровского, Варзугского и Топозерского [Раменская, 1983, цит. по 24]. Преобладающим типом растительности островов и побережья залива являются северо-таежные леса [7, 24].

Исследования проходили на территории острова Великий Кандалакшского государственного природного заповедника (окрестности кордона Городецкий) в сентябре 2000 г. и мыса Киндо комплексного заказника «Полярный круг» (окрестности Беломорской биологической станции МГУ) в сентябре 2007 г. (рис. 1). Объектом измерений служил подрост сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. Измерения проводились по методике, частично представленной в [9, 10].



Рис. 1. Карта-схема района исследований (территория Кандалакшского государственного природного заповедника и комплексного заказника «Полярный круг») (<http://www.wsbs-msu.ru/maps/okrest1.gif>)

Показателем отклика приростов сосны на климатические факторы в нашем исследовании является степень вариабельности хода роста. Этот показатель характеризовался рядами индексов прироста, которые получались удалением возрастного тренда. Данная процедура состояла в делении значения прироста каждого года на скользящую среднюю по 5 годам.

Поиск зависимостей рядов индексов прироста и метеорологических переменных осуществлялся с помощью корреляционного анализа. Обнаруженные корреляционные связи позволяют продемонстрировать ту степень, в которой межгодовые колебания рядов индексов прироста объясняются межгодовыми колебаниями метеорологических переменных, т.е. продемонстрировать степень климатической обусловленности межгодовых колебаний прироста.

Климатические факторы характеризовались значениями метеорологических аномалий среднемесячных температур и месячных сумм осадков, т.е. отклонениями от среднего значения базового периода [2, 3]. Для выявления климатической составляющей вариабельности хода роста были рассмотрены метеорологические аномалии марта, апреля, мая, июня, июля, августа, сентября текущего и предыдущего годов. Вовлечение в анализ метеорологических показателей предшествующего года необходимо, поскольку для при-

роста текущего года важны размер и качество почки, заложенной в предыдущем году, а также количество хвои прошлых лет, осуществляющей донорские функции по отношению к рассматриваемому побегу [21, 23].

С биоценотической точки зрения район исследований, изобилующий скальными выходами, лощинами, котловинами, характеризуется многообразием местообитаний. Наличие низин при избыточном увлажнении создает благоприятные условия для заболачивания (влажные местообитания). В то же время возвышенные части рельефа нередко испытывают недостаток влаги (сухие местообитания), тонкий слой рыхлых отложений, покрывающий коренные скальные породы, не может задерживать стока осадков в низины [7].

Измерения проводились в свежих, сухих и влажных биотопах изучаемых территорий. Всего было измерено 175 деревьев. Ниже представлены описания характерных для берегов Кандалакшского залива биотопов.

Сухие биотопы. Наиболее типичным представителем данного вида местообитаний является сосняк скальный. Он распространен на почти лишенных почвенного покрова выходах горных пород. Сходным типом леса покрыты верхние части хорошо дренированных всхолмлений и гряд ледникового происхожде-

ния, а также древние наносные морские террасы. Напочвенный покров здесь образуют преимущественно ягельные лишайники, в связи с чем такие боры называют беломошниками.

Свежие биотопы. Ровные возвышенные плато и верхние части склонов занимают в основном сосняки-брусничники, средние и нижние части склонов – сосняки-черничники. Под пологом леса растут кустарнички – брусника, черника, вороника. Почва скрыта под сплошным покровом зеленых мхов-мезофитов, относящихся в основном к родам плевроциум, гилокомиум и дикранум.

Влажные биотопы. В самых нижних частях склонов, в межгрядовых понижениях, по окраинам болот и озер, т.е. в местах с избыточным увлажнением доминируют мхи-гигрофиты, преимущественно сфагновые. В условиях избыточного, но еще не застойного увлажнения сфагновые мхи занимают влажные понижения в микрорельефе, а на кочках растут зеленые мхи и кустарнички – багульник, голубика, черника, меньше – брусника и вороника. По мере приближения к заболоченным участкам сфагновые мхи все выше поднимаются по бокам кочек и наконец заселяют их целиком. Одновременно уменьшается количество ягодных кустарничков и в покрове появляются типичные болотные виды – морошка, клюква, сабельник, вахта, разнообразные осоки [7].

К влажным биотопам мы относим и скальные местообитания, образованные мелкими углублениями рельефа, в которых постоянно аккумулируется атмосферная влага, не имеющая стока из-за непроницаемости подстилающей поверхности. В таких микроводоемах развивается болотная растительность – сфагнум, мирт болотный и прочие. Подобные ценозы, хотя и расположенные на выходах скальных пород в окружении сухих местообитаний, по сути, конечно, следует классифицировать как влажные.

Для решения поставленных задач прежде всего было необходимо выяснить, насколько сходны древостои о. Великого и мыса Киндо по характеру variability хода роста. Для этого был осуществлен корреляционный анализ осредненных рядов индексов прироста для двух изучаемых терри-

торий. Полученный коэффициент корреляции R оказался равен 0,496, т.е. была обнаружена значимая положительная корреляция на уровне достоверности 0,90 [1]. Данный результат графически отражен на рис. 2.

Из представленных материалов следует, что ряды индексов прироста древостоев о. Великого и мыса Киндо весьма сходны друг с другом. Представляется очевидным, что 50 % варьирования ходов роста сосняков двух берегов Кандалакшского залива объясняется почти полным тождеством климатических и ценологических условий их произрастания. Различия же объясняются, вероятно, множеством локальных факторов, обусловленных сложным рельефом местности (например, микроклиматические и почвенные характеристики, условия корневой конкуренции, параметры инсоляции и поверхностного стока и т.д.).

Таким образом, можно интерпретировать совокупности подроста сосны двух берегов Кандалакшского залива как структурные элементы единого биогеоценоза. Для решения поставленных в нашем исследовании задач мы сосредоточим усилия на поиске общих для данных территорий закономерностей, считая, что именно они характеризуют взаимоотношения древостоев изучаемой территории с климатической системой. Такой подход позволит отделить маскирующий имеющиеся закономерности «шум», причиной которого являются разнообразные локальные воздействия, и выявить искомые отклики.

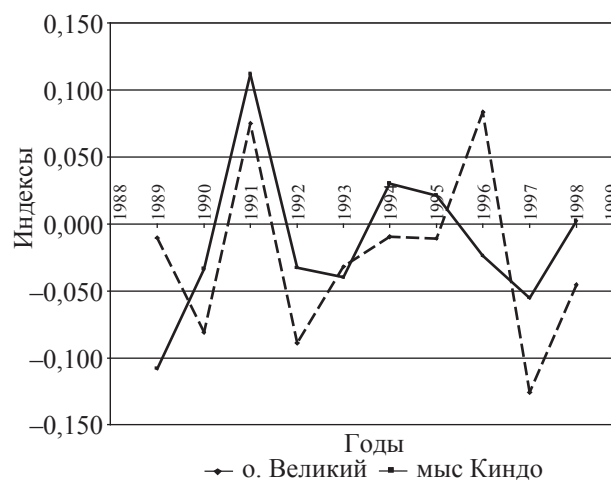


Рис. 2. Осредненные ряды индексов приростов древостоев о. Великий и мыса Киндо

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты корреляции между рядами индексов линейного прироста и аномалиями метеорологических переменных влажных биотопов на мысе Киндо

Месяц	Температура		Осадки	
	год в год	год-1	год в год	год-1
март	0,474	0,154	0,071	0,122
апрель	-0,093	0,160	0,162	0,070
Май	-0,011	0,078	0,135	-0,432
июнь	0,323	0,346	-0,686	-0,314
июль	-0,034	-0,103	-0,415	0,027
август	-0,014	0,348	-0,313	-0,077
сентябрь	-0,114	0,046	0,317	0,092
октябрь	-0,118	0,029	-0,061	-0,013

Примечание: здесь и далее «год-1» означает условия предыдущего года

Влажные биотопы. Результаты корреляционного анализа рядов индексов приростов и метеорологических переменных представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, значимая положительная корреляция отмечена для температуры марта текущего года ($R = 0,474$). Значимые отрицательные корреляции обнаружены для осадков июня и июля текущего года: $R = -0,686$ и $R = -0,415$ соответственно. Осадки мая прошлого года также связаны значимой отрицательной корреляцией с рядами индексов прироста ($R = -0,432$).

Полученные результаты согласуются с данными литературы [8, 14, 23]. Положительная корреляция рядов индексов прироста и аномалий температур марта текущего года объясняется тем, что в начале вегетационного сезона дереву необходимо достаточное количество тепла для пуска процессов роста и развития вегетативных органов.

Отмечены отрицательные зависимости рядов индексов прироста от рядов аномалий осадков в текущем году (фенофазы роста междоузлий и формирования почек возобновления). Данное явление легко объяснить: рост побегов сдерживается таким негативным фактором, как избыток влажности среды обитания.

Отрицательная зависимость обнаружена и для фенофазы роста междоузлий предыдущего года. Известно, что размер линейного

прироста у сосны в большой степени определяется условиями вегетации предыдущего года, а условия текущего года могут лишь задержать или ускорить рост [21, 23]. Следовательно, фактор, негативно воздействующий на рост междоузлий, сдерживает развитие побегов следующего года. Таким негативным фактором для влажных местообитаний, судя по результатам корреляционного анализа, является избыток влаги.

Свежие биотопы. Результаты корреляционного анализа рядов индексов прироста для свежих биотопов представлены в табл. 2.

Судя по результатам, представленным в табл. 2, свежие биотопы о. Великого характеризуются значимой положительной корреляцией рядов индексов прироста и аномалий температур апреля текущего года ($R = 0,333$). Для данных местообитаний характерна отрицательная зависимость рядов индексов от осадков августа ($R = -0,325$).

На территории мыса Киндо в свежих биотопах отмечена отрицательная корреляция с аномалиями осадков июня и июля текущего года ($R = -0,390$ и $R = -0,414$ соответственно).

Причина замеченного несходства в откликах приростов двух изучаемых территорий температуры вегетационного сезона, вероятно, различие локальных температурных режимов (что характерно для районов со скальными выходами и многообразием местообитаний).

Для обеих территорий отрицательная взаимосвязь между рядами индексов прироста и аномалий осадков июня-августа обнаружена в период окончания линейного роста междоузлия и формирования почки возобновления. Следует отметить, что аномалии осадков предыдущего вегетационного сезона, по-видимому, не оказывают влияния на колебания хода роста сосны. Данный результат указывает на достаточное увлажнение свежих биотопов региона.

Сухие биотопы. Для поиска возможных взаимосвязей параметров роста и погодных факторов сухих биотопов исследуемых территорий также был проведен корреляционный анализ. Его результаты представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции между рядами индексов линейного прироста и аномалиями метеорологических переменных свежих биотопов на мысе Киндо и на о. Великий

Месяц	о. Великий				мыс Киндо			
	Температура		Осадки		Температура		Осадки	
	год в год	год-1	год в год	год-1	год в год	год-1	год в год	год-1
март	-0,224	0,286	-0,194	-0,060	-0,401	0,191	-0,313	0,213
апрель	0,333	-0,201	0,069	-0,156	0,042	0,145	-0,092	-0,002
май	0,067	0,063	0,145	0,068	-0,147	-0,320	0,120	-0,164
июнь	0,305	0,104	0,118	-0,291	0,206	0,027	-0,390	-0,215
июль	-0,024	0,272	-0,155	-0,005	0,049	-0,116	-0,414	-0,013
август	-0,109	0,011	-0,325	0,091	-0,055	-0,126	-0,105	-0,134
сентябрь	-0,305	0,183	-0,166	0,001	-0,137	-0,267	0,241	-0,019
октябрь	0,263	-0,096	0,072	0,209	0,431	0,398	0,013	-0,145

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты корреляции между рядами индексов линейного прироста и аномалиями метеорологических переменных сухих биотопов на мысе Киндо и на о. Великий

Месяц	о. Великий				мыс Киндо			
	Температура		Осадки		Температура		Осадки	
	год в год	год-1	год в год	год-1	год в год	год-1	год в год	год-1
март	-0,068	0,135	-0,491	0,276	-0,555	0,193	-0,162	-0,047
апрель	0,122	0,154	0,081	0,279	0,177	0,287	0,065	0,367
май	0,304	-0,058	-0,390	0,417	-0,115	-0,144	-0,005	-0,063
июнь	-0,114	0,105	-0,350	0,291	-0,008	0,090	0,243	-0,142
июль	-0,485	0,127	0,184	-0,008	-0,067	-0,010	-0,207	-0,342
август	-0,184	-0,341	-0,158	-0,262	-0,031	-0,141	-0,177	-0,019
сентябрь	-0,069	0,077	-0,042	0,247	-0,179	-0,030	0,056	-0,094
октябрь	0,106	0,216	0,063	0,289	0,295	-0,125	0,187	0,000

Ряды индексов прироста сухих биотопов на о. Великий обнаруживают отрицательную корреляцию со среднемесячными температурами июля текущего года ($R = -0,485$) и августа прошлого года ($R = -0,341$). Наблюдается отрицательная корреляция с аномалиями осадков марта ($R = -0,491$), мая ($R = -0,390$) и июня ($R = -0,350$) текущего года. При этом отмечена положительная связь с осадками мая предыдущего года ($R = 0,417$).

Для древостоев мыса Киндо найдены следующие закономерности. Существует значимая отрицательная связь колебаний хода роста и температуры марта текущего года ($R = -0,555$). Осадки текущего года, судя по значениям коэффициентов корреляции, не играют существенной роли в определении характера формирования ежегодного прироста. Значимая положительная корреляция выявлена для апреля предыдущего года ($R = 0,367$).

Специфика сухих биотопов состоит в том, что рост температуры влечет увеличение дефицита влаги. Обнаружена отрицательная корреляция аномалий температуры и индексов прироста для фазы роста междоузлий (текущего года) и формирования почки возобновления (текущего и предыдущего годов соответственно).

Наличие отрицательных зависимостей индексов прироста и аномалий осадков июня, июля и августа текущего года остается неясным. В условиях дефицита влаги, пополняемой практически только атмосферными осадками, следовало бы ожидать обнаружения высоких и положительных значений коэффициентов корреляций. Однако следует иметь в виду, что условия сухих биотопов здесь настолько специфичны, что при исследованиях мы вправе ожидать самых парадоксальных эффектов. Вероятно, при выпадении осадков происходит смыл питательных веществ по

наклонной водонепроницаемой поверхности. Следствием этого и является угнетение роста междоузлий, что отражено в полученных результатах.

Количество влаги, доступной растительности берегов Кандалакшского залива, определяется атмосферными осадками. Таким образом, дефицит осадков является стрессом для древостоев на любой из фенофаз вегетационного сезона. Успешное прохождение деревом фенофаз зеленения и роста годичных побегов в значительной степени влияет на качество закладывающихся почек возобновления, что, в свою очередь, определяет рост междоузлий в следующем вегетационном сезоне. Этим, очевидно, и объясняются положительные корреляции рядов индексов прироста и аномалий осадков апреля и мая предыдущего года.

Проведенные на территории о. Великий Кандалакшского государственного природного заповедника и на мысе Киндо (комплексный заказник «Полярный круг») исследования не показали сходного для всех древостоев отклика приростов подроста сосны на температуры. Судя по полученным результатам, определяющими в характере зависимости прироста от температур являются различные локальные (в т.ч. микроклиматические) факторы.

Зависимость колебаний линейного прироста от колебаний метеорологических элементов в свежих биотопах берегов Кандалакшского залива характеризуется спектром различных по знаку и величине параметров. Здесь велика роль «шума», определяемого локальными причинами и маскирующего исследуемые нами связи. Очевидно, почвенная влага не является в свежих местообитаниях лимитирующим прирост фактором.

Более выражена связь между колебаниями прироста и колебаниями метеорологических элементов в сухих и во влажных биотопах. Во всех рассмотренных местообитаниях зависимость носит определенный характер – значимая отрицательная реакция на водный стресс (вызываемый повышенными температурами) для сухих биотопов и значимая отрицательная реакция на избыточное атмосферное увлажнение – для влаж-

ных. Условия существования подроста сосны как в сфагновых болотах, так и на скальных обнажениях берегов залива являются критическими – в первом случае из-за переизбытка влаги, во втором – из-за ее нехватки. Именно в биотопах с критическими условиями – на границах возможности существования сосны – мы можем выделить на фоне «шума» наиболее важные для роста древостоев факторы и определить степень их значимости. Таким фактором для древостоев сухих и влажных местообитаний берегов Кандалакшского залива являются атмосферные осадки (их недостаток и избыток соответственно).

Автор приносит благодарность вед. н. с. ИГКЭ, д.ф.-м.н. Э.Я. Раньковой, а также доценту МГУЛ к.б.н. Д.Е. Румянцеву за предоставленные данные, консультации и плодотворные обсуждения материала.

Библиографический список

1. Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука. – 1983. – 415 с.
2. Будыко, М.И. Изменения климата / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
3. Груза, Г.В. Колебания и изменения климата на территории России / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – Т.39. – 2003. – № 2. – С. 166–185.
4. Елагин, И.Н. Времена года в лесах России / И.Н. Елагин. – Новосибирск: Наука, 1994. – 271 с.
5. Елагин, И.Н. Сезонное развитие сосняков европейской части СССР и Сибири / И.Н. Елагин // Фенология, 1969. – Вып. 1(3). – С. 7–9.
6. Елагин, И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов / И.Н. Елагин. – Новосибирск: Наука, 1976. – 227 с.
7. Заповедники СССР. Заповедники европейской части РСФСР. – М.: Мысль, 1988. – 287 с.
8. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений / Ф.М. Куперман. – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.
9. Кухта, А.Е. Линейный прирост деревьев как индикатор состояния среды / А.Е. Кухта // Сибирский экологический журнал, 2003. – № 6. – С. 767–771.
10. Кухта, А.Е. Метод мониторинга линейного прироста ювенильных древесных растений и его роль в оценке крупномасштабных изменений состояния природной среды и климата / А.Е. Кухта, С.М. Семенов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – Т. XVIII. – С. 167–192.
11. Кухта, А.Е. Воздействие атмосферного загрязнения на растительность на территории Европы / А.Е. Кухта, Б.А. Кухта, А.А. Рудкова и др. // Обзор загрязнения природной среды в РФ за 1999 г. Фе-

- деральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – М., 2000. – С. 42–45.
12. Минин, А.А. Корреляционные связи некоторых фенологических явлений / А.А. Минин, С.М. Горбунов. – Известия РГО, 1995. – Т. 127. – Вып. 1. – С. 82–86.
13. Минин, А.А. Влияние климата на продукцию лесных сообществ / А.А. Минин, В.Н. Козин, В.Д. Собакинских. – М.: Известия РАН, сер. Геогр., 1993. – № 1. – С. 96–100.
14. Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с.
15. Семенов, С.М. Тропосферный озон и рост растений в Европе / С.М. Семенов, И.М. Кунина, Б.А. Кухта. – М.: Метеорология и гидрология, 1999. – 208 с.
16. Синнот, Э. Морфогенез растений / Э. Синнот. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 603 с.
17. Цельникер, Ю.Л. Географические аспекты фотосинтеза у лесных деревьев России / Ю.Л. Цельникер, И.С. Малкина, Н.А. Завельская // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – Т. XVIII. – С. 81–109.
18. Andersson B. Defoliation of Coniferous Trees. Assessments 1984–1987 // The National Swedish Environmental Protection Board. Environmental Quality Laboratory. Uppsala, 1988. 28 pp.
19. Climate Change Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific and Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. (Watson., et al., editors). Cambridge University Press, 1995. 1996.879 pp.
20. Climate Change The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. (Houghton J. T., et al., editors) . Cambridge University Press, Wrong year for SAR WG2, 2001. 2001.881 pp.
21. Gavrikov V. L., Karlin I. V. A dynamic model of tree terminal growth // Can. J. For. res., vol. 23, 1993., pp. 326–329.
22. Holten, J.I. and Carey, P.D. Responses of climate change on natural terrestrial ecosystems in Norway. Norsk Institutt for Naturforskning. 1992.59 pp.
23. Kozlowski T. T., Pallardy S. G. Growth Control in Woody Plants. Academic Press. 1997.644 pp.
24. <http://oopt.info/index.php?page=1>
25. <http://www.wsbs-msu.ru/maps/okrest1.gif>