

ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.62+502.7(476)

ВЛИЯНИЕ МЕЛИОРАЦИИ НА ЕЛЬНИКИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

В.Н. Киселев, доктор географических наук, профессор

БГПУ им. Максима Танка

Е.В. Матюшевская, кандидат географических наук, доцент

А.Е. Яротев, кандидат географических наук

П.А. Митрахович, кандидат биологических наук, доцент

Белорусский государственный университет

Ключевые слова: Белорусское Полесье, ельники, мелиорация, климат, радиальный прирост

Введение

Локальная популяция ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) занимает в Белорусском Полесье «островные» местонахождения среди трансзональной формации сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Ельники этого региона представляются как символ утраченного экологического благополучия и богатейшего биоразнообразия своеобразных по своим природным особенностям ландшафтов в центре европейского субконтинента. Согласно климатогенно-ривалитатной теории В.С. Гельтмана [1] они принадлежат широколиственно-сосновой подзоне Европейской зоны широколиственных лесов. В большинстве своем они представлены черничниками в экотопе с иллювиально-гумусово-железистым подзолом с неглубоким (не глубже 1 м до осушения сопредельных переувлажненных нелесных угодий) залеганием грунтовых вод.

Потепление климата, наряду с осушительной мелиорацией, нередко рассматривается в качестве основной причины угнетения ели на южной границе ее ареала. За пределами этого ареала (в «островных» локалитетах Полесья) ель должна быть уже обречена на отмирание или, по крайней мере, иметь отрицательную зависимость от температуры воздушной среды при ее повышении.

«Островные» ельники Полесья в экологии и биологическом разнообразии этого региона имеют несравненно большее значение, чем в экономике лесного хозяйства. Современное состояние (наличие сухостоя, бурелома и ветровала, захламленность, вырубка и лесные пожары) вызывает тревогу за их сохранность на территории региона. Однако естественное расселение ели за пределы «островных» локалитетов в подсушенные мелиорацией ольсы и ее проникновение в сосняки черничные свидетельствует о том, что ель сохранится на Полесье несмотря на осушение переувлажненных земель и изменение климата.

Как известно, ель в «островных» локалитетах Полесья находится южнее ареала своего сплошного расселения. Широко распространяемые представления о последствиях мелиоративных работ и потепления климата вводят в заблуждение не только лесное хозяйство. Во-первых, изменчивость климата — это его свойство, а не однонаправленный процесс (только в сторону потепления), развивающийся под влиянием антропогенных факторов. Во-вторых, следует обратить внимание на потепление или похолодание конкретных сезонов года. В годичном разрезе рост и развитие лесных насаждений происходит в течение двух периодов: безлиственного (с октября по апрель) и вегетационного (с мая по сентябрь) с двумя месяцами активного роста (мая и июня).

В климате Полесья, как и остальной Беларуси, после 1940 г. выделяется две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления [2]. На Полесье (по наблюдениям на метеостанции Василевичи в пересчете на гидрологический год, начало которого 1 октября)

Таблица 1 — Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Василевичи.

Годы	t °С				Осадки, мм			
	V—VI	V—IX	X—IV	Год	V—VI	V—IX	X—IV	Год
Первая эпоха								
1879—1905	15,4	15,7	-0,6	6,2	149	367	296	526*
1906—1940	15,3	15,6	-0,3	6,4	142	390	329	719
Средние за первую эпоху	15,3	15,6	-0,5	6,3	144	382	317	660*
Вторая эпоха								
1945—1976	15,4	15,8	-0,5	6,3	126	318	285	603
1977—2006	15,5	15,8	0,4	6,8	141	364	281	645
Средние за вторую эпоху	15,4	15,8	-0,1	6,5	133	342	278	620
Весь период наблюдений								
1879—2006	15,4	15,7	-0,2	6,4	137	358	297	641

П р и м е ч а н и е : * — неполнота наблюдений; V—VI — месяцы.

температура вегетационного периода при потеплении не изменилась по сравнению с предшествующим похолоданием (15,8 °С). Потеплел (на 0,9 °С) только безлиственный период (с -0,5 до 0,4 °С), что и привело к увеличению средней годичной температуры до 0,8 °С (табл. 1). Таким образом, условия вегетации древесных растений существенно не изменились, а изменились условия их покоя. Ожидать бед можно только от потепления безлиственного, а не вегетационного периода и изменения погодных условий месяцев активного роста. Начало вегетации контролируется фотопериодической адаптацией растений, и здесь может возникнуть противоречие между этой адаптацией и более ранним наступлением весеннего сезона. Однако исследования по этой проблеме пока не получили развития.

В настоящее время «островные» ельники Белорусского Полесья находятся в условиях уже стабилизировавшегося после завершения осушительной мелиорации сопредельных болот и заболоченных земель уровня грунтовых вод, но в продолжающихся изменениях климата. Они по-прежнему привлекают к себе внимание в связи с возможной деградацией уже после крупномасштабной водно-земельной мелиорации в современных климатических реалиях. Интерес к проблеме сохранения «островных» ельников в современной тенденции изменения климата возродился в последнее время.

Корневая система ели на заболоченных песчаных почвах чувствительна к колебанию уровня приповерхностных грунтовых вод. По этой причине изучение стволовой продуктивности «островных» ельников позволяет получить информацию о естественной и антропогенной динамике природной среды Полесья. В изменчивости их радиального прироста должны быть отражены не только динамика климата, но и изменение водных условий эдафотопы после мелиоративного освоения сопредельных болот и заболоченных земель. Особый интерес представляет поведение ели на тех территориях, на которых не выполнялась осушительная мелиорация ни Западной экспедицией И.И. Жилинского в 1873—1898 гг., ни при крупномасштабном сельскохозяйственном освоении болот и заболоченных земель во второй половине XX в. Полученные дендрохронологические характеристики радиального прироста будут отражать их изменчивость под влиянием климатических факторов при ненарушенном естественном колебании приповерхностного водоносного горизонта. Радиальный прирост выступит в качестве объективного индикатора временной динамики и современного состояния «островных» ельников.

Материалы и методика исследования

Необходимым условием выполнения исследований являлось получение статистического материала, отражающий характер его связи с факторами среды вне антропогенного вмешательства, что особенно важно для Белорусского Полесья. К настоящему времени в регионе практически не сохранились болота, на которых не выполнялась осушительная мелиорация, или они не оказывались в зоне влияния мелиоративных систем на уровенный режим грунтовых вод. Одним из таких болот является Круковское в Ковчицком лесничестве на западе Светлогорского лесхоза, к юго-восточной окраине которого примыкает «островной» ельник (ур. «Селище»).

Круковское болото переходного типа входит в крупнейшую систему болот на междуречье Птичи и Березины. Исследованный ельник занимает приболотный экотоп — слабонаклонную к болоту полосу между ним и насаждением сосны на повышенном рельефе. Тип леса — ельник черничный, под сплошным пологом мертвопокровный. Иллювиально-гумусово-железистый подзол на кварцевых песках под насаждением имеет следующие горизонты: подстилку A_0 (0—6 см), элювиально-гумусовый A_1A_2 (6—11 см, песок черный с белесой присыпкой), подзолистый A_2 (11—17 см, песок мелкозернистый, белесый), ожелезненный иллювиально-гумусовый B_h (17—31 см, песок мелкозернистый, темно-бурый, плотный, глыбистый), иллювиальные B_{1g} (31—51 см, песок мелкозернистый, светло-коричневый монотонный, сырой) и B_{2g} (51—80 см, песок мелкозернистый, сизоватый со светло-коричневыми пятнами, оплывает). Грунтовые воды в засушливом 2011 г. залегали близко от поверхности: в мае на глубине 10—30 см, в ноябре 40—60 см в зависимости от микрорельефа.

«Островные» ельники на мелиорированной территории находятся в кварталах № 89 (ур. «Каменский Лес») и № 70 (ур. «Ельнички») Светлогорского лесхоза и в кварта-

ле № 10 Октябрьского лесхоза. Их местопроизрастания — окраинная полоса, граничащая с низинным болотом под ольхой черной. По одному из урочищ, наиболее полно отражающему размерность (небольшую площадь в несколько гектар) они объединены общим названием «Ельнички». Почва — тот же иллювиально-гумусово-железистый подзол на кварцевых песках: A_0 (8 см), A_1A_2 (до глубины 15 см), A_2 (до 30—45 см), B_n (до 65—70 см), B_g (до 110—130 см) и C_g (до 200 см). Майский уровень грунтовых вод на глубине 150—160 см.

Эти исследованные ельники расположены в водосборах рек Ипы и Нератовки, канализированных еще Западной экспедицией И.И. Жилинского в последней четверти XIX в. В начале 1960-х гг. была проведена коренная реконструкция осушительной сети, и освоенные торфяники стали интенсивно использоваться как пахотные угодья.

Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буровом на высоте 1,3 м у ство-

Таблица 2 — Сведения о возрастных сериях тестированных деревьев

Полигон	Возраст, лет	Кол-во деревьев	Диаметр, см	Высота, м
«Селище»	120	10	18—26	23—32
	85	10	36—48	20—24
	70	14	33—42	18—21
	55	9	28—32	16—28
«Ельнички»	95	16	52—70	24—30
	80	13	46—54	22—26
	70	18	40—50	22—26
	60	14	34—42	18—24

лов, не имеющих физических повреждений и дефектов роста. Сведения об одно-возрастных сериях тестированных деревьев представлены в табл. 2 (возраст указан на год отбора образцов: в ур. «Селище» — февраль 2012 г., в «Ельничках» — май 2001 г.). Статистическая обработка данных дендрометрических измерений выполнена с применением пакета прикладных программ SPSS. Индексный прирост определялся с при-

менением пятилетнего скользящего сглаживания.

Синхронность изменчивости радиального прироста, определенная по коэффициенту корреляции, была свойственна сериям ели в приспевающем и спелом возрастах ($56 > r > 78$). Рост и развитие самого молодого поколения (55 лет) находилось в антифазе ($-13 > r > -55$) с более взрослыми поколениями, как на мелиорированной, так и на немелиорированной территориях. Следует отметить, что стволовая продуктивность ели на мелиорированной территории более результативна, чем на немелиорированной: диаметр ствола в сопоставимых возрастах значительно больше, особенно в приспевающем и спелом древостое (табл. 3).

Результаты и их обсуждение

Неглубокое приповерхностное залегание питающих грунтовых вод определило сравнительно узкий диапазон изменчивости радиального прироста (см. табл. 3), характеризуя невысокую стволовую продуктивность ели в данных условиях. Однако с уменьшением возраста ее потенциальная продуктивность в этих эдафогидрологических условиях значительно увеличивается, что нашло отражение в максимально возможной размер-

Таблица 3 — Статистическая характеристика годовых колец у возрастных серий ели на исследованных полигонах

Возраст, лет	Годы	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
«Селище»					
120	1907—1940	1,8	3,8	0,22	8,9
	1941—1976	2,0	3,5	0,31	13,1
	1977—2011	1,4	3,2	0,37	10,2
85	1907—1940	3,1	4,0	0,34	11,0
	1941—1976	2,2	4,3	0,30	8,3
	1977—2011	1,5	3,0	0,27	11,7
70	1941—1976	2,6	5,8	0,67	10,8
	1977—2011	2,8	5,6	0,36	7,6
55	1941—1976	3,2	7,0	0,64	-
	1977—2011	3,8	8,9	0,55	9,1
«Ельнички»					
95	1911—1940	3,0	8,2	0,44	6,8
	1941—1976	2,5	9,0	0,43	7,6
	1977—2000	1,8	6,8	0,39	12,2
80	1941—1976	3,0	7,0	0,28	6,4
	1977—2000	2,2	6,2	0,53	15,0
70	1941—1976	3,3	7,8	0,49	6,9
	1977—2000	2,6	11,2	0,46	11,1
60	1949—1976	3,4	9,3	0,67	5,9
	1977—2000	3,5	9,9	0,61	11,8

ности годового кольца, выявленной у отдельных деревьев.

Появление депрессии в вековом ходе изменчивости радиального прироста (рис. 1) вызывалось в основном обильными атмосферными осадками. Причиной первой из них послужило рекордное выпадение осадков в 1906 г. — 1097 мм (629 мм за вегетационный период). Следующее уменьшение ширины годовых колец в 1916 г. (767 мм осадков) и в 1917 г. (743 мм) последовало после дождливого 1914 г. (828 мм, за вегетационный период 457 мм).

Экспрессия прироста в 1934 г. не только у 120-летней, но и 85-летней групп обязана значительному недобору осадков (за год 503 мм, за май и июнь — 63 мм, самое низкое значение во влажной климатической эпохе). Его угнетение во второй половине 1930-х гг. при потеплении климата опять же вызвано увеличением увлажненности (в 1938 г. — 809 мм осадков, за вегетационный период — 417 мм).

При наступлении неустойчиво влажной климатической эпохи [2], с сокращением осадков по сравнению с предыдущей, линейный прирост ели несколько увеличился. Однако наиболее глубокая его депрессия в 1953 г. опять же вызвана обильными осадками (809 мм, за вегетационный период — 417 мм). В эту эпоху угнетение более возрастных

групп елей наступало почти одновременно: у 120-летних в 1977 г. (707 мм осадков, за вегетационный период 494 мм), у 85-летних — в 1980 г с самым холодным (14,6 °С) и сырым вегетационным периодом (496 мм осадков). Глубокая депрессия радиального прироста 85-летней группы в 1987 г. последовала за аномально холодным безлиственным периодом (-2,7 °С).

Неустойчиво влажной климатической эпохе свойственен ряд лет с аномально низким выпадением осадков и засушливыми месяцами активного нарастания древесной массы. К таким годам относятся: 1959 г. (457 мм, 73 мм в мае и июне), 1960 (421,

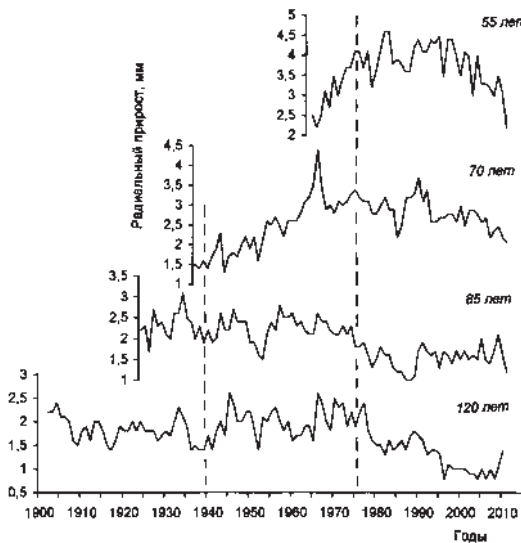


Рисунок 1 — Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на полигоне «Селище».

127 мм), 1963 (416, 63 мм) и 1964 г. (459 и 57 мм). При малой увлажненности месяцев активного роста древесных растений в условиях приповерхностного залегания грунтовых вод у 70-летней группы елей к окончанию этих лет радиальный прирост достиг максимального значения в 1963 г. (рис. 1), в котором, к тому же, значение прямой солнечной радиации было рекордно высоким на Полесье за весь период ее определения [3]. Следует также отметить, что этот год был самым теплым в регионе, а вегетационный период — одним из самых засушливых (169 мм осадков). У 55-летней группы елей две наиболее заметные депрессии радиального прироста на его вершине синхронны

по времени таким же его депрессиям у 85-летней группы. В 2010 г. продолжительное весеннее затопление территории вызвало резкое падение прироста.

Ель в исследованном экотопе продемонстрировала низкую чувствительность к климатическим факторам: ее коэффициент (по А.Е. Дугласу [4]) за анализируемые временные отрезки был ниже 0,3, за исключением 85-летнего поколения после 1976 г. (табл. 4). Только у перестойной (120 лет) группы он при потеплении климата незначительно уменьшился, у остальных групп он увеличился, как у большинства ельников на территории Беларуси [2].

В дисперсии индексного прироста, отражающей амплитуду его изменчивости и состояние насаждения, не прослеживается строгой закономерности при переходе в начале 1940-х гг. от влажной эпохи к неустойчиво влажной и при сокращении притока прямой солнечной радиации после 1976 г. (рис. 3).

В ходе временной изменчивости модульных коэффициентов нет одномоментного

перехода через переломный 1940 г. (рис. 2). Только у 85-летней группы заметно увеличение дисперсии этого показателя реакции ели на изменение климатических условий, у остальных поколений (120 и 70 лет), наоборот, сокращение, что и отражено в табл. 3.

Индексный прирост значимо не коррелировал с температурой воздуха до 1976 г. (табл. 5). Позднее он приобрел прямую зависимость от температуры безлиственного периода, которая наиболее значимо проявилась у 120-летнего поколения ($r = 0,46$ при $n = 35$, $P = 0,99$), и у 55-летней группы ($r = 0,53$, $0,99 > P < 0,999$). Определение коэффициента корреляции между фактическим (в мм) радиальным приростом с этим метеофактором подтвердило значение температуры безлиственного периода для стволовой продуктивности ели: у 85-летней группы $r = 0,33$, у 70-летней $r = 0,32$, у 55-летней $r = 0,52$. У 120-летней группы он оказался наименьшим ($r = 0,12$).

При отсутствии статистически значимой связи с температурой безлиственного периода только у 85-летней группы фактический (в мм) радиальный прирост зависел от притока прямой солнечной радиации за вегетационный период ($r = 0,43$, $n = 50$, $0,99 > P < 0,999$). Этот же уровень связи сохранялся на следующий год ($r = 0,50$). У всех возрастных групп не выявлена зависимость текущего радиального прироста с рассеянной солнечной радиацией: коэффициенты корреляции оказались статистически недостоверными.

Рост и развитие ели в экотопе с приповерхностным залеганием грунтовых вод осуществляется в основном с использованием их минеральных ресурсов. Разновозрастные группы в насаждении могут

иметь существенные различия в нарастании стволовой массы, зависящие от возраста, положения в насаждении, развития корневой системы и др. Общей для них является относительная независимость от изменчивости климатических условий (солнечной ра-

Таблица 4 — Чувствительность ели к климатическим факторам

Возраст, лет	Коэффициент чувствительности (Кч)		
	1907—1940 гг.	1941—1976 гг.	1977—2011 гг.
«Селище»			
120	0,18	0,30	0,25
85	0,28	0,20	0,36
70	-	0,16	0,23
55	-	-	0,21
«Ельнички»			
95	0,14	0,19	0,44
80	0,14	0,19	0,44
70	-	0,16	0,27
60	-	0,13	0,28

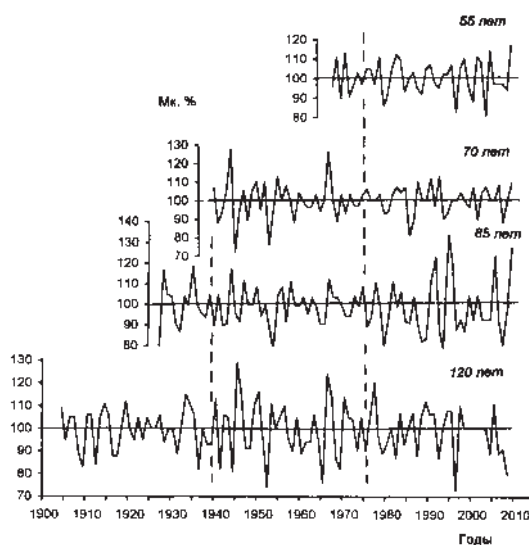


Рисунок 2 — Многолетний ход изменчивости индексного прироста

Таблица 5 — Коэффициенты корреляции индексного прироста
возрастных групп ели на полигоне «Селище» с метеофакторами
(температурой воздуха и осадками)

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции $r = 0, \dots$					
		1907—1940 гг.		1941—1976 гг.		1977—2011гг.	
		t °C	осадки	t °C	осадки	t °C	
120	Май—июнь	0,4	-0,5	15	-10	05	03
	Вегетац.	-16	12	11	-08	09	04
	Безлист.	08	-06	-02	11	46	15
	Год	-03	05	03	01	41	13
85	Май—июнь	-	-	18	-16	-25	-03
	Вегетац.	-	-	11	-20	11	-30
	Безлист.	-	-	16	-29	31	13
	Год	-	-	26	-32	30	-08
70	Май—июнь	-	-	18	-11	-05	-28
	Вегетац.	-	-	14	-20	-05	-19
	Безлист.	-	-	-04	03	25	05
	Год	-	-	03	-12	22	-14
55	Май—июнь	-	-	-	-	31	08
	Вегетац.	-	-	-	-	05	-04
	Безлист.	-	-	-	-	53	48
	Год	-	-	-	-	42	27

Примечание к табл. 5—7. Полу жирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при $P = 0,95$, полужирным начертанием и курсивом — при $P = 0,99$. Безлист. — безлиственный период, вегетац. — вегетационный период. Число n равно количеству лет во временном отрезке.

диаии, температуры воздуха и осадков). В условиях приповерхностного залегания грунтовых вод, определяющего устойчивое водное и минеральное питание ели, ее реакция на изменение гелиорадиационного фактора, температуры воздуха и осадков оказывается слабо выраженной.

Угнетение ели в приболотном экотопе не свидетельствует об оптимальных условиях ее произрастания и экологическом благополучии. Приповерхностные грунтовые воды являлись и являются для нее лимитирующим фактором на территории, на которой не выполнялась осушительная мелиорация.

Осушительная мелиорация, понизив уровень приповерхностных грунтовых вод, перевела «островные» ельники в иное экологическое состояние, что отразилось в их реакции на изменчивость погодно-климатических условий. Судя по коэффициенту (см. табл. 4), чувствительность к ним сократилась в фазу похолодания климата с недобором осадков в 1941—1976 гг., но увеличилась при потеплении в последней четверти XX в. Статистическая характеристика годовых колец (см. табл. 3) указывает на лучшие лесорастительные условия для ели на мелиорированной территории: средняя ширина годовых колец оказалась больше. Максимально возможный радиальный прирост, отражающий потенциал ее стволовой продуктивности, значительно, особенно при потепле-

Таблица 6 — Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста возрастных групп ели с метеозементами в «островных» локалитетах на мелиорированной территории Полесья («Ельнички»).

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции (0,...)			
		1945-1976 гг.		1977-2000 гг.	
		с t °C	с осадками	с t °C	с осадками
95	Май-июнь	-04	31	-27	-24
	Вегетац.	-16	21	-02	-16
	Безлист.	31	27	60	65
	Год	11	25	47	45
80	Май-июнь	08	34	-22	-08
	Вегетац.	-02	16	08	-01
	Безлист.	22	25	64	60
	Год	16	09	54	32
75	Май-июнь	18	34	-23	-23
	Вегетац.	11	-10	-10	16
	Безлист.	38	00	73	73
	Год	26	-12	59	45
60	Май-июнь	-10	28	-28	-13
	Вегетац.	-15	34	-01	44
	Безлист.	18	18	63	53
	Год	10	22	52	55

нии климата. Возросла дисперсия (σ) в размерности годовых колец по сравнению с предшествующим периодом, за исключением сравниваемых 120 и 95-летних возрастных групп. Дисперсия индексного прироста, отражающая состояние древостоя, в 1941—1976 гг. была меньше, но значительно (у 80 и 70-летних поколений в 1,5 раза) больше при потеплении на территории с осушительной сетью, чем без нее. Дисперсия индексного прироста, отражающая состояние древостоя, при похолодании и недоборе осадков у ельников на мелиорированной территории была меньше, чем на немелиорируемой, за исключением 80- и 70-летних поколений.

Сравнение векового хода изменчивости радиального прироста ели на полигоне «Ельнички» (рис. 4) с ним же в «Селище» (рис. 1) показывает, что осушение болот Западной экспедицией И.И. Жилинского улучшило лесорастительные условия при большом количестве осадков во влажную климатическую эпоху. Сокращение осадков при похолодании климата в 1941—1976 гг. оказалось не чувствительным для ели на осушенной территории.

После 1976 г., при потеплении климата, угнетение ели всех возрастных серий на полигоне «Ельнички» проходило одновременно и более резко выражено, особенно у менее возрастных поколений, при краткосрочных похолоданиях в 1979—1980 и 1985—

Таблица 7 — Коэффициенты корреляции ($r = 0, \dots$) радиального (в мм) прироста ели с прямой солнечной радиацией, температурой воздуха и осадками и их вклад в его изменчивость ($100 R^2, \%$) после 1976 г.

Возраст, лет	Период	r	100 R ² , %	r	100 R ² , %	r	100 R ² , %
		с прямой радиацией		с t °C		с осадками	
95	Май-июнь	-06	0,36	-25	6,25	-10	1,00
	Вегетац.	-02	0,04	-04	0,16	-12	1,44
	Безлист.	-	-	42	17,64	33	10,59
	Год	-08	0,64	33	10,89	08	0,64
80	Май-июнь	-05	0,25	-18	3,24	-06	0,36
	Вегетац.	-16	2,56	-02	0,04	-08	0,64
	Безлист.	-	-	36	12,96	13	1,69
	Год	-21	4,41	28	7,84	-01	0,01
70	Май-июнь	-09	0,81	-25	6,25	-20	4,00
	Вегетац.	-02	0,04	-20	4,00	-08	0,64
	Безлист.	-	-	61	37,21	32	10,24
	Год	-31	9,61	45	20,25	11	1,21
60	Май-июнь	-06	0,36	-27	7,29	-13	1,69
	Вегетац.	-25	6,25	-10	1,00	-09	0,81
	Безлист.	-	-	63	39,69	47	22,09
	Год	-34	11,54	50	25,00	19	3,61

1987 г. Более глубокое положение грунтовых вод привело к негативной реакции ели на низкую температуру воздушной среды.

Одновременно наступающая в вековом ходе индексного прироста (рис. 5) наиболее значимая депрессия отмечена именно в холодные годы при потеплении климата — в 1879—1980, 1985—1987 и 1992—1993 гг. Наименьший текущий радиальный прирост за весь период жизни и развития насаждений ели на мелиорируемой территории наступил также одновременно в 1996 г. (5,6 °C) с самым холодным безлиственным периодом (–2,7 °C), который оказался наиболее «сухим» (169 мм осадков) в противоположность сырому (444 мм осадков) во второй половине XX в. Такая изменчивость индексного радиального прироста всех возрастных серий ели на территории с осушительной сетью подчеркивает приоритет климатического фактора в изменчивости стволовой продуктивности перед антропогенным при развитии лесных ландшафтов в последней четверти XX в.

В отличие от ели в «Селище» у нее в 1976 г. на территории с осушительной сетью четко прослеживается переломный момент в индексном приросте с увеличением абсолютных значений и дисперсии (см. табл. 3 и рис. 5). Это указывает на то, что реакция ели на изменчивость климатических факторов становится ярко выраженной при более глубоком залегании грунтовых вод. Ведущим экологическим фактором, определяющим прояв-

ление этой реакции, по всей видимости, является эдафический — плотный иллювиально-гумусово-железистый горизонт, не проницаемый для корней древесных пород [5].

После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, поверхностная корневая система ели с хорошо развитыми корневыми лапами и физиологически активными окончаниями, расположенными выше этого горизонта, оказывается вне зоны капиллярного поднятия грунтовых вод. Ель не может использовать их минеральные ресурсы для своего питания. Кварцевые пески, слагающие литологический профиль почвы, не обогащают почвенный раствор питательными веществами. Практически единственным источником их пополнения, оказывается подстилка, минерализация которой определяется температурными условиями и увлажнением атмосферными осадками.

Приток солнечной радиации — не что иное, как энергетическое обеспечение фотосинтеза. В локальных эдафотопках, у почв которых не было плотного глибистого горизонта и грунтовые воды находились на глубине 1,8 м, радиальный прирост теневыносливой ели имел прямую статистически значимую зависимость от притока прямой солнечной радиации [6]. Однако в своеобразных эдафо-гидрологических условиях ее сокращение стало фоном, при котором проявилось лимитирующее значение температуры и осадков. Индексный прирост приобрел прямую зависимость от температуры воздуха и осадков безлиственного периода (табл. 6). Эта же зависимость свойственна и Ляховичским ельникам [1].

Соотношение между вкладом прямой солнечной радиации и другими климатическими факторами (температурой и осадками) в стволовую продуктивность в исследованном эдафотопе Полесья после 1976 г. можно оценить не только по коэффициенту корреляции, но и по коэффициенту детерминации (R^2) между фактическим приростом (критериальной переменной) и ими (предикторами), привлекая опыт подобных исследований применительно к сельскохозяйственным культурам [7]. Коэффициент детерминации — это квадрат корреляции Пирсона ($R^2 = r^2$) между двумя переменными. Он выражает количество дисперсии, общей между двумя переменными. Если $R^2 = 0,9$,

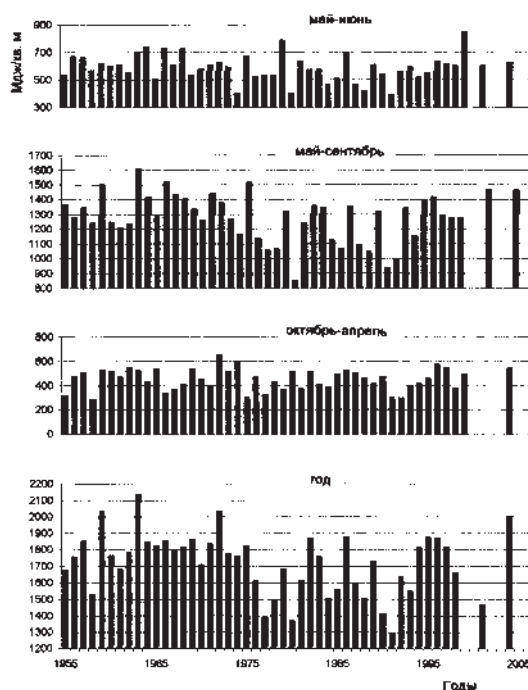


Рисунок 3 — Изменчивость прямой солнечной радиации после 1955 г. (по наблюдениям на метеостанции Василевичи, пропуски в рядах — отсутствие наблюдений).

уравнением регрессии объясняется 90 % дисперсии результивного признака, а на долю прочих факторов приходится 10 % ее дисперсии [8].

Коэффициент корреляции фактического прироста с прямой солнечной радиацией

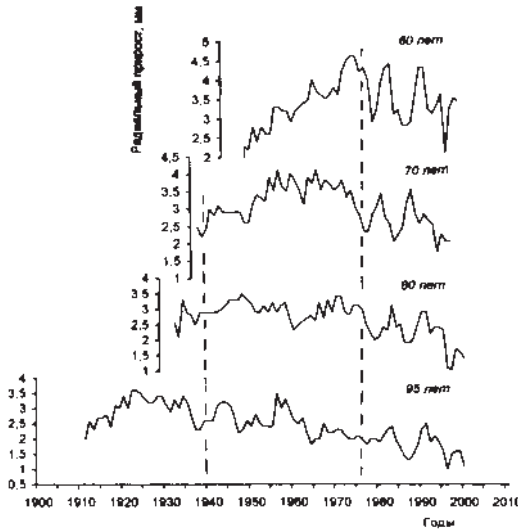


Рисунок 4 — Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на полигоне «Ельнички».

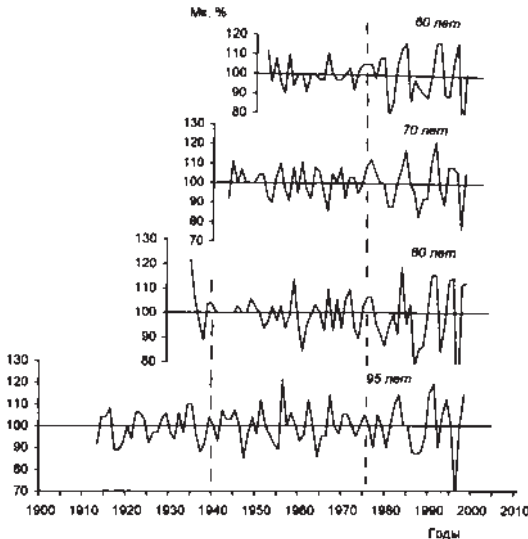


Рисунок 5 — Многолетний ход изменчивости индексного прироста

Реакция ели на изменчивость климатических условий определяется субстратом, от которого зависит почвенное питание растения [9]. На плодородных почвах на лессовидных суглинках (средняя полоса Беларуси) и моренных отложениях с богатым минералогическим

оказался столь низким, что ее вклад в его падение был крайне мал (табл. 7). Фактический прирост, как и индексный, положительно статистически значимо коррелировал с температурой воздуха безлиственного периода и, как следствие, гидрологического года в целом. Эта корреляция была теснее у более молодых поколений (у 60-летнего $r = 0,63$, у 70-летнего $r = 0,61$), чем у старших (95-летнего $r = 0,42$, 80-летнего $r = 0,36$). Пользуясь шкалой Чеддока, тесноту этой связи у первых двух поколений можно оценить как заметную, у вторых как умеренную. Радиальный прирост меньше зависел от атмосферных осадков этого периода. Эта зависимость может быть оценена от слабой (у 70- и 80-летних поколений) до умеренной (у 60- и 95-летних).

Причем повышение температуры и увеличение осадков в месяцы активного роста и за вегетационный период оказывало негативное слабое (по шкале Чеддока) влияние на радиальный прирост: все коэффициенты корреляции отрицательные и меньше 0,3 ($-0,25 > r < -0,08$). Соответственно, вклад температуры безлиственного периода в изменчивость ширины годичного кольца оказался больше, чем осадков: у серии возраста 95 лет на 7,05, 80 лет на 11,27, 70 лет на 26,97 и на 60 лет на 17,6 % (см. таблицу 7).

составом (Поозерье) изменчивость радиального прироста ели зависит от атмосферных осадков [2]. На минералогически бедных автоморфных почвах на кварцевых песках Полесья лимитирующим фактором выступает прямая солнечная радиация [6].

Проведенное исследование показало, что на почвах с плотным иллювиально-гумусово-железистым горизонтом и мощной лесной подстилкой после понижения грунтовых вод изменчивость радиального прироста стала больше определяться температурными условиями безлиственного, а не вегетационного периода по сравнению с атмосферными осадками.

Растущая на почвах с близкой грунтовой водой ель не использует минеральные ресурсы почвы [10]. После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, у нее в «островных» локалитетах увеличение годового прироста могло произойти за счет вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание, потребность в котором возросла при потеплении климата.

Главным источником минерального питания древесных растений является аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации свежего органического вещества [11]. Максимальная интенсивность минерализации наблюдается весной. Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, и именно в ней выражена сезонная динамика численности и биомассы различных групп почвенных микроорганизмов [12].

Кроме хорошей аэрации и влажности почвы необходимым условием поддержания ее биологической активности является температура. Интенсивность отмирания микрофлоры в холодный период зависит от температурных условий. По всей видимости, аномальные морозы при маломощном снежном покрове или без него могут подавить микробиологическую активность подстилки, от минерализации которой зависит приготовление почвенного раствора, необходимого для питания растения.

Возникшие при потеплении климата после 1976 г. контрастные погодные условия безлиственного периода: аномально теплые и суровые (с маломощным снежным покровом или без него) позднесенние и зимние месяцы отразились на жизнеспособности почвенной микрофлоры. Как следствие, возникающая недостаточность в азотном и минеральном питании древесного растения на фоне сокращения притока прямой солнечной радиации определило его положительную реакцию на изменчивость температурных условий безлиственного периода.

Заключение

Радиальный прирост — объективный индикатор происходящих изменений в природной среде Полесья с его крупномасштабной осушительной мелиорацией. Он существенно нивелирует субъективный подход, связанный с личностным восприятием ее последствий. Как показали исследования, угнетение ели в приболотном экотопе на территории, на которой не выполнялась осушительная мелиорация, не свидетельствует об оптимальных условиях ее произрастания и экологическом благополучии. Приповерхно-

стные грунтовые воды являлись и являются для нее лимитирующим фактором. При современном потеплении климата изменчивость радиального прироста ели после осушительной мелиорации стала определяться температурными условиями безлиственного периода (октябрь—апрель).

Литература

1. Гельтман, В.С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. / В.С. Гельтман — Минск: Наука и техника, 1982. — 326 с.
2. Киселёв, В.Н. Экология ели / В.Н. Киселёв, Е.В. Матюшевская. — Минск: Изд. центр БГУ, 2004. — 217 с.
3. Киселев, В.Н. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ) / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович. — Минск: Право и экономика, 2010. — 202 с.
4. Douglass, A.E. Climatic cycles and tree growth / A.E. Douglass. — Wash. Publ., 1936. — Vol. 3. — 289 p.
5. Киселев, В.Н. Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья / В.Н. Киселев, К.Д. Чубанов. — Минск: Наука и техника, 1979. — 104 с.
6. Киселев, В.Н. «Взрывы в радиальном приросте ели в островных локалитетах Белорусского Полесья / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасі і перспектывы развіцця. Зб. навуковых прац. — Выпуск 4. — Брэст: Альтернатыва. — 2011. — С. 36—41.
7. Сачок, Г.И. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г.И. Сачок, Г.А. Камышенко. — Минск: Бел. Наука, 2006. — 243 с.
8. Эконометрика / Под ред. И.И. Елисеевой. 2-е изд. — М.: Финансы и статистика. — 2006. — 576 с.
9. Киселева, Е.В. Дендроиндикация природных процессов на территории Беларуси по данным пространственной и временной изменчивости радиального прироста ели европейской. / Автореф. дисс. ...канд. географ. наук по специальности 25.00.23 — физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов. — Минск, 2002. — 22 с.
10. Дюшафур Ф. Основы почвоведения. Пер. фр. — М.: Прогресс. — 1970. — 591 с.
11. Смольянинов, И. И. Как и чем питается лес / И.И. Смольянинов, О.А. Климова. — М.: Лесн. пром-сть. — 1978. — 121 с.
12. Головченко, А.В. Сезонная динамика численности и биомассы микроорганизмов по профилю почвы / А.В. Головченко, Л.М. Полянская — Почвоведение, 1996, № 10. — С. 1227—1283.

Summary

**Kiseliou V., Matiushevskaja E., Jarotou A., Mitrachovich P.
SPRUCE FORESTS OF BELARUSIAN POLESYE IN PRESENT CLIMATE**

Spruce in "island" localities in Polesye there is a symbol of the rich biodiversity of this forest—swamp region in the center of Europe. In this article the comparative analysis of the variability in spruce tree-ring growth in "island" localities on reclaimed and unreclaimed areas under the influence of solar radiation, temperature and precipitation is done. In the modern climate warming the variability of spruce tree-ring growth is determined by the temperature of the leafless period (October-April) conditions. Tree-ring growth is an objective indicator of changes in Polesye environment with its large-scale drainage. It essentially eliminates the subjective approach of personal perception of its consequences.

Поступила 17 декабря 2012 г.