

УДК 630*561.24+551.583(470.56)

РЕКРЕАЦИЯ И РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЯКОВ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ “ОЗЕРО ТУРГОЯК”, ЮЖНЫЙ УРАЛ

© 2022 г. В. В. Кукарских^а, Н. М. Дэви^{а, *}, М. О. Бубнов^а, Л. И. Агафонов^а

^аИнститут экологии растений и животных УрО РАН, Россия 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202/3

*e-mail: nadya@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 02.12.2021 г.

После доработки 28.01.2022 г.

Принята к публикации 30.01.2022 г.

В старовозрастных древостоях исследовано влияние рекреационных нагрузок на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на участках с V стадией рекреационной дигрессии на территории организованного и неорганизованного отдыха и ненарушенных участках. За 100-летний период не обнаружено негативных изменений в динамике радиального прироста, обусловленных рекреацией, но установлено значимое увеличение ширины годичных колец и числа выпадающих годичных колец в хронологиях на участках активной рекреации. Выявлена линейная зависимость между числом выпадающих колец и индексом суровости засух scPDSI. В условиях летних засух близость озера может смягчать негативное влияние рекреации на древостои даже на участках с V стадией рекреационной дигрессии.

Ключевые слова: рекреационная дигрессия, сосна обыкновенная, радиальный прирост, засухи, Южный Урал

DOI: 10.31857/S0367059722030076

С 1970 г. население планеты возросло в 2 раза, а площадь урбанизированных территорий удвоилась с 1992 г. [1]. В последние десятилетия в связи с возросшей мобильностью населения, расширением индустрии массового отдыха и трендом на развитие местного туризма, широким доступом к электронным источникам информации вырос поток желающих провести свободное время за городом, на особо привлекательных природных территориях.

В Челябинской области популярностью пользуется оз. Тургояк. О привлекательности озера как места отдыха известно еще с рубежа XIX–X вв. Одно из первых упоминаний об озере как курортной зоне встречается в книге В.А. Весновского “Иллюстрированный путеводитель по Уралу” [2], а позднее были опубликованы результаты исследований географа В.Н. Сементовского [3, 4], благодаря которым озеро Тургояк получило общероссийскую известность. Берега озера полностью покрыты сосновым лесом и на протяжении более 100 лет являются местом массового отдыха. Близкое расположение крупных городских агломераций — Миасса, Златоуста, Кыштыма, Челябинска, Екатеринбурга — привлекает в окрестности оз. Тургояк много отдыхающих. В результате существует проблема чрезмерного и неконтролируемого рекреационного использования и деграда-

ции его прибрежных территорий, которая привлекает большое общественное внимание.

Цель настоящей работы состояла в исследовании реакции деревьев и древостоев сосны на рекреационную нагрузку. Ставились следующие задачи: 1) исследовать возрастную структуру древостоев; 2) изучить влияние рекреации и факторов климата на радиальный прирост деревьев; 3) определить для древостоев риски природно-антропогенного характера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу исследований положен сравнительный анализ реакции деревьев и древостоев в зоне активной рекреации и на ненарушенных участках. Под зоной активной рекреации понимается “объект рекреационный — любое ограниченное по площади место, обладающее особенно привлекательными для отдыха свойствами” [5]. Под рекреационной нагрузкой принято понимать непосредственное влияние различных видов отдыха и транспорта отдыхающих на природные комплексы и объекты, имеющие наиболее выраженную привлекательность для посетителей и отдыхающих по причине их живописности, эстетической комфортности или бальнеологическим факторам [6].

Степень рекреационной нагрузки принято представлять стадиями рекреационной дигрессии (РД), которые соответствуют этапам трансформаций биоценозов [7–9]. Среди методов оценки РД наиболее часто используют метод учета доли площади, вытоптанной до минерального горизонта. В соответствии с вытоптанной площадью выделяются уровни рекреационной нагрузки, каждому из которых присваивается соответствующая стадия РД, характеризующая этап рекреационных изменений [6].

Подход, основанный на выделении стадий дигрессии по вытоптанной площади, получил широкое распространение в рекреационном лесоведении. В настоящее время существует несколько схем определения стадий РД [7, 8, 10–14], которые достаточно сходны при определении доли вытоптанной площади. Для определения стадий РД мы руководствовались исследованиями Н.С. Казанской с соавт. [7] и Л.П. Рысина с соавт. [8].

Учитывали следующие положения о влиянии рекреации на древостой:

- реакция древесного яруса на рекреационное воздействие проявляется позднее, чем других ярусов растительности [9, 15];

- в результате уплотнения почвы и ухудшения ее водно-физических свойств увеличивается число суховершинных деревьев; древостой на уплотненных почвах чаще подвергаются инвазии насекомых-вредителей, грибных заболеваний, менее устойчивы к неблагоприятным погодно-климатическим факторам [16, 17];

- при рекреационных нагрузках III и больших стадий РД наблюдается снижение радиального прироста деревьев [18, 19];

- с увеличением рекреационной нагрузки изменяется возрастная структура древостоев: возрастает доля молодых, а старые особи исчезают [20, 21].

Объектом исследования были лесные участки прибрежной зоны оз. Тургояк на территориях организованного отдыха (базы отдыха) и на берегу озера-спутника Инышко – территория неорганизованного отдыха. Были выбраны четыре территории со сходными геоморфологическими и микроклиматическими условиями в исторически сходных лесорастительных и погодно-климатических условиях (рис. 1). Каждая территория представлена тест-полигонами (ТП) с участками V степени РД и ненарушенными (контрольными) ТП без видимых следов рекреации (табл. 1). Критерии подбора контрольных ТП: отсутствие тропиной сети; наличие ярусов естественного живого напочвенного покрова, подростка и подростка. Три территории являются зонами организованного отдыха: клуб-отель “Золотой пляж” (ТП 1а, 1б, 1в); Городской пляж на южном берегу оз. Тургояк, с. Тургояк (ТП 3а, 3б, 3в); база отды-

ха “Форелька” (ТП 4а, 4б). Тест-полигоны на берегу оз. Инышко относятся к зоне неорганизованного отдыха (ТП 2а, 2б). Наиболее старым рекреационным объектом (используется более 100 лет) является Городской пляж.

Инфраструктура баз отдыха вписана в сохранившиеся естественные древостой, где сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является основным лесообразователем и в свежих типах лесорастительных условий формирует тип леса сосняк мшисто-разнотравный [22]. На ненарушенных ТП обильны подрост (высота 0.5–2 м, возраст до 10 лет) и подросток, хорошо развит живой напочвенный покров (проективное покрытие до 100%). Увлажнение ТП обеспечивается атмосферными осадками. На пляжных ТП может сказываться влияние уровня озера, поскольку они располагаются в непосредственной близости от уреза воды.

В зоне активной рекреации выбирали участки с оборудованными местами отдыха в виде беседок, мангальных зон, оборудованных костровищ, организованные под пологом древостоя. На пляжах исследовали деревья в береговой полосе не далее 15 м от уреза воды. Все рекреационные ТП имели 100% площади, вытоптанной до минерального горизонта. У двух третей деревьев на Городском пляже (ТП 3а) корневая система со стороны озера подвергалась волновой абразии. У всех деревьев поверхностные корни были частично оголены от вытаптывания. На всех деревьях в зонах рекреации имелись механические повреждения от 10% (ТП 1а) до 70% (ТП 3а) поверхности стволов на высоте до 1.5 м от комля. На всех ТП не отмечено суховершинности крон деревьев, поражения деревьев насекомыми-вредителями или грибными заболеваниями.

На каждом ТП выбирали площадку, на которой отбирали керны древесины на высоте ствола 1.1–1.3 м со всей выделенной площади ТП (табл. 2). По кернам определяли возрастную структуру древостоя каждого участка с распределением по 20-летним классам возраста [23]. Анализ различий в абсолютной величине годового прироста на рекреационных и ненарушенных ТП исследовали в период 1940–2016 гг. В старовозрастных древостоях на этом этапе роста уже не выражена возрастная кривая годового прироста, которая у всех деревьев характеризуется горизонтальной прямой. Также с 1940-х гг. можно ожидать накопленный с 1900-х гг. эффект влияния рекреационной нагрузки на радиальный прирост деревьев.

Дальнейшую обработку кернов выполняли по общепринятой методике [24]. Измерения ширины годовых колец и визуальную перекрестную датировку индивидуальных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) выполняли на комплексе LINTAB 5 в программном пакете TSAP [25]. Ка-

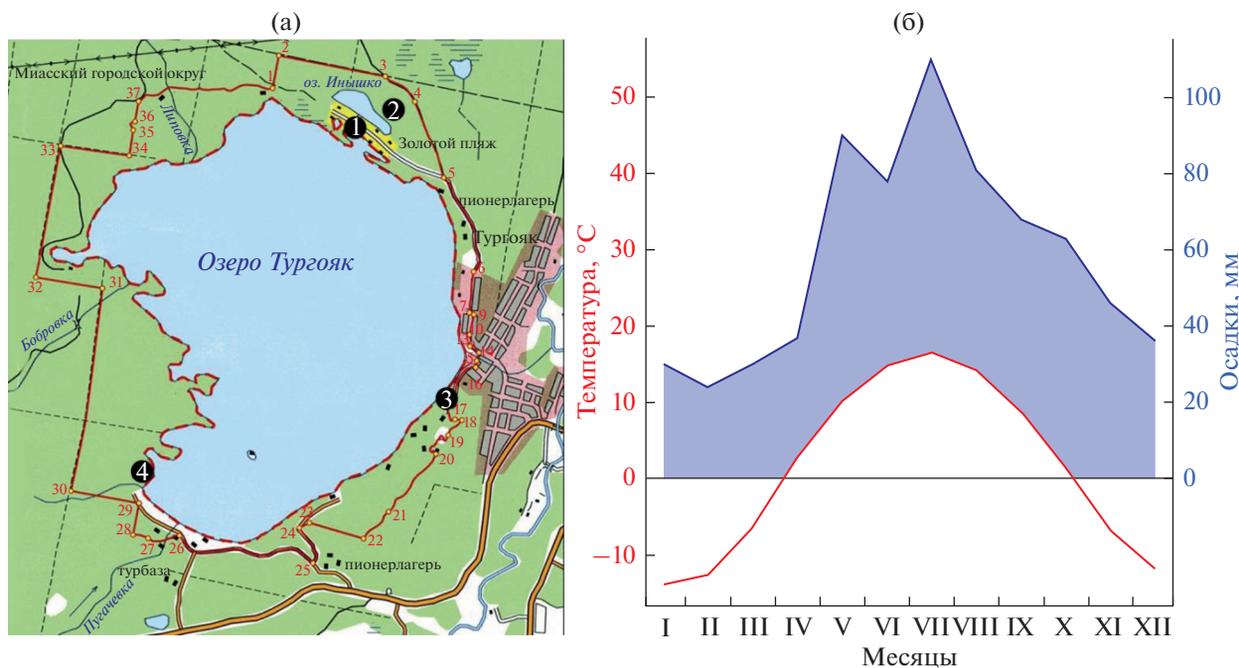


Рис. 1. Окрестности оз. Тургойак (а) и тест-полигоны: 1 – клуб-отель “Золотой пляж”, 2 – оз. Иньшко, 3 – Городской пляж, 4 – база отдыха “Форелька”, участок “Мысы”; климатограмма (б) по метеостанции Златоуст за 1936–2016 гг. (55°10′ с.ш., 59°40′ в.д.), расстояние до оз. Тургойак 47 км.

чество перекрестного датирования ДКХ проверяли в программе COFESHA [26]. В анализе использовали хронологии по ширине годовых колец (ШГК) и хронологии индексов прироста. Для

построения последних применяли процедуру стандартизации, которая позволяет устранить в хронологиях по ШГК влияние возраста деревьев и случайных кратковременных воздействий раз-

Таблица 1. Краткая характеристика дендрохронологических тест-полигонов и собранного материала в прибрежной зоне оз. Тургойак

Номер тест-полигона	Территория	Характеристика условий	Площадь участка, м ²	Количество деревьев	Состав древостоя
1а	Клуб-отель “Золотой пляж”	Рекреационный участок, мангальная зона	1087	44	10С
1б	Клуб-отель “Золотой пляж”	Рекреационный участок, пляж	680	31	10С
1в	Клуб-отель “Золотой пляж”	Ненарушенный участок	900	51	10С
2а	Оз. Иньшко	Рекреационный участок, зона палаток	1150	44	10С ед. Лц
2б	Оз. Иньшко	Ненарушенный участок	800	21	10С ед. Лц
3а	Городской пляж	Рекреационный участок, береговая линия 200 м	Береговая линия 200 м	32	10С
3б	Городской пляж	Рекреационный участок, зона палаток	1230	26	10С
3в	Городской пляж	Ненарушенный участок	590	30	10С ед. Лп
4а	База отдыха “Форелька”	Рекреационный участок, зона палаток	1020	72	10С ед. Лц
4б	База отдыха “Форелька”	Ненарушенный участок	450	46	10С ед. Лц

Таблица 2. Статистические характеристики хронологий по ширине годовых колец

Тест-полигон	Период, годы	Длина, лет	Возраст деревьев, средний/медиана	Межсерийный коэффициент корреляции	Коэффициент чувствительности	Ширина годового кольца (1920–2016 гг.), мм	Выпавшие кольца, %	Автокорреляция I порядка
						средняя \pm SD		
1а	1817–2016	200	146/146	0.71	0.31	0.77 \pm 0.29	0.376	0.785
1б	1799–2015	217	174/174	0.69	0.35	0.68 \pm 0.23	0.53	0.807
1в	1803–2016	214	194/203	0.79	0.34	0.46 \pm 0.15	0.931	0.773
2а	2007–2016	210	164/163	0.70	0.33	0.62 \pm 0.18	0.58	0.817
2б	1826–2015	190	176/179	0.76	0.28	0.61 \pm 0.17	0.054	0.807
3а	1822–2015	194	152/149	0.63	0.32	0.73 \pm 0.25	0.461	0.87
3б	1828–2016	189	160/160	0.72	0.38	0.57 \pm 0.27	2.615	0.905
3в	1842–2015	174	153/152	0.74	0.31	0.63 \pm 0.22	0.483	0.905
4а	1814–2016	203	157/165	0.67	0.30	0.62 \pm 0.18	0.233	0.792
4б	1818–2016	199	166/174	0.77	0.30	0.49 \pm 0.15	0.054	0.807

Примечание. Заливкой выделены не нарушенные рекреацией тест-полигоны.

личной природы. Стандартизацию и построение обобщенных ДКХ для каждого ТП осуществляли в программном пакете R [27]. Возрастные тенденции прироста были устранены методом кубического сплайна с окном, равным 67% длины хронологии [28].

Для анализа связи хронологий с климатическими факторами (температура воздуха, атмосферные осадки) использовали данные метеостанции Златоуст (см. рис. 1) за период с 1936 г. по 2016 г. Значения индексов суровости засух Палмера (scPDSI) взяты по данным пространственной экстраполяции CRU TS 4.04 [29] за период 1936–2016 гг. в окне с разрешением $0.5 \times 0.5^\circ$ по широте и долготе, в которое попадает оз. Тургояк (координаты северо-западного угла ячейки: 55.5° с.ш., 60.00° в.д.). Корреляционные функции стандартизованных (остаточных) хронологий с данными ближайшей ячейки были рассчитаны с помощью программы DENDROCLIM2002 [30].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст деревьев на ТП варьирует от 146 (ТП 1а) до 194 (ТП 1в) лет с преобладанием деревьев старше VII класса возраста (табл. 2, рис. 2). Древостой на всех ТП ступенчато-разновозрастные и представлены 5–7 возрастными поколениями с постепенным увеличением доли старовозрастных деревьев (см. рис. 2), что указывает на единство и естественность процесса их формирования [31, 32].

Межсерийный коэффициент корреляции (корреляция между индивидуальной и совокупной хронологиями на каждом ТП) в хронологиях

по абсолютной ШГК оказался выше на ненарушенных ТП (варьирует от 0.74–0.79), чем на ТП с рекреационной нагрузкой (0.63–0.71). Коэффициент чувствительности на ненарушенных участках (0.28–0.34) лишь незначительно меньше в сравнении с участками с антропогенной нагрузкой (0.30–0.38).

Выявлены различия в абсолютной величине радиального прироста между рекреационными и ненарушенными ТП. На последних средняя ШГК за 1920–2016 гг. несколько ниже, чем на ТП с рекреацией. Для того чтобы установить статистическую значимость этих различий, хронологии объединили в три категории: две рекреационных (пляжные ТП 1б, 3а и мангально-палаточные ТП 1а, 2а, 3б, 4а) и одна из ненарушенных ТП (1в, 2б, 3в, 4б), и сравнили ШГК на них. Различия между ненарушенными ТП и обеими категориями ТП с рекреацией оказались значимыми ($p \leq 0.05$) на всем исследуемом интервале времени (рис. 3). Исключением являются годы масштабных суровых засух на Южном Урале – 1931, 1936, 1938, 1946, 1948, 1949, 1951, 1955, 1957, 1963, 1965, 1975, 1981, 1984, 1991, 1995, 1998, 2010 [33], в которые наблюдается резкое снижение ШГК у всех категорий ТП и различия становятся недостоверными.

Все хронологии по ШГК имеют очень высокие коэффициенты автокорреляции (см. табл. 2), что свидетельствует о зависимости прироста текущего года от условий предшествующего года [34]. Обобщенные индексированные хронологии также имеют высокий значимый коэффициент корреляции друг с другом (табл. 3), что указывает на единство факторов, определяющих величину радиального прироста [34]. Однако коэффициенты

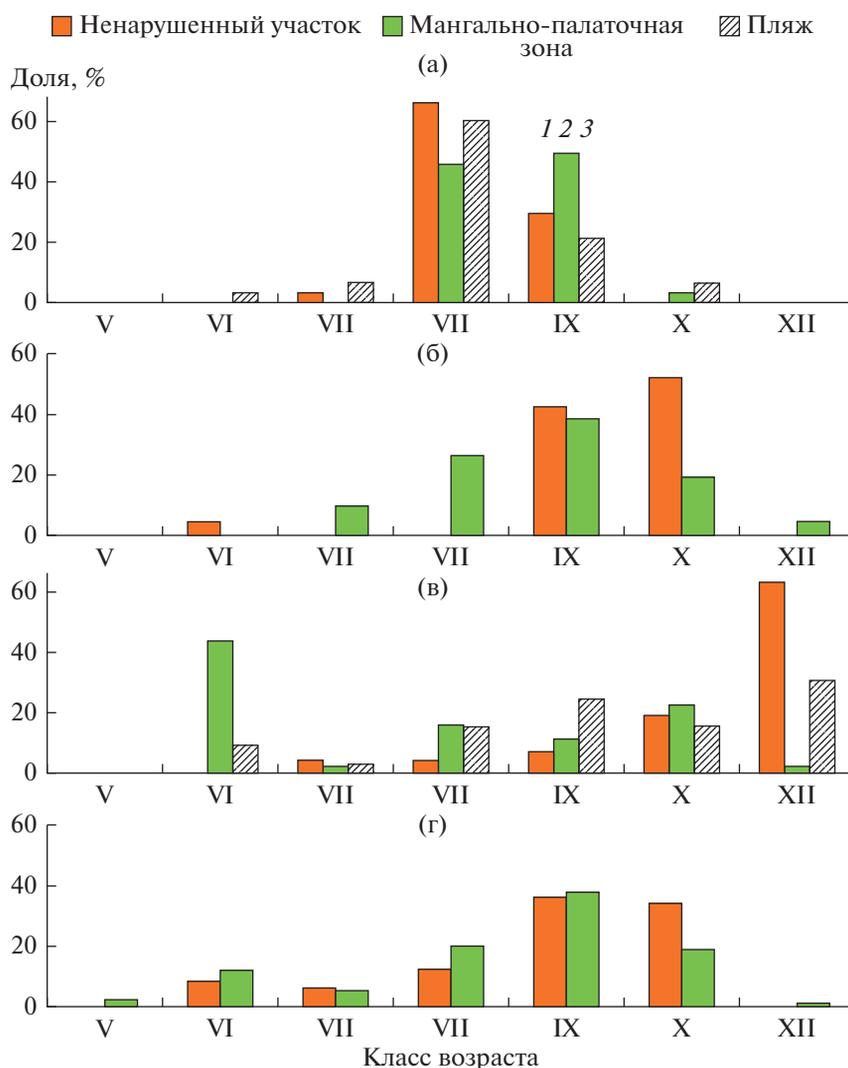


Рис. 2. Возрастная структура древостоев исследованных тест-полигонов: а – клуб-отель “Золотой пляж”; б – оз. Иньшко; в – Городской пляж; г – база отдыха “Форелька”; 1 – ненарушенный участок, 2 – мангально-палаточная зона, 3 – пляж.

корреляции между наиболее контрастными условиями на пляжных ТП 1б и 3а и ненарушенных рекреацией ТП 1в, 2б, 3в и 4б менее высокие и варьируют от 0.59 до 0.69.

В обобщенных индексированных хронологиях для последних 100 лет не выявлено различий в многолетней динамике прироста между ненарушенными и рекреационными ТП. Этот факт, а также высокая значимая связь между хронологиями позволяют получить генерализированные ДКХ, которые представлены тремя категориями (рис. 4): все ненарушенные (ТП 1в, 2б, 3в, 4б), все пляжные (ТП 1б и 3а) и все мангально-палаточные (ТП 1а, 2а, 3б, 4а).

Анализ связи индексов прироста на всех категориях ТП с температурой воздуха и атмосферными

осадками выполнен для периода с октября предшествующего года по сентябрь текущего (рис. 5). Выявлено сходство между ненарушенными и мангально-палаточными ТП, на которых осадки одинаково значимо положительно влияют на величину прироста в мае–июле, а влияние температуры воздуха значимо отрицательно в мае и июне (см. рис. 5а, б). Связи прироста сосны пляжных ТП с осадками значимо положительны в июне, августе и сентябре, а с температурой воздуха значимо отрицательны только в одном месяце – июне (см. рис. 5в).

Погодичный анализ частоты встречаемости выпадающих годовичных колец на всех категориях ТП за период с 1920 г. по 2016 г. показал, что максимальное число выпадающих колец приходится на годы суровых засух в 1931, 1936, 1975 гг. (рис. 6).

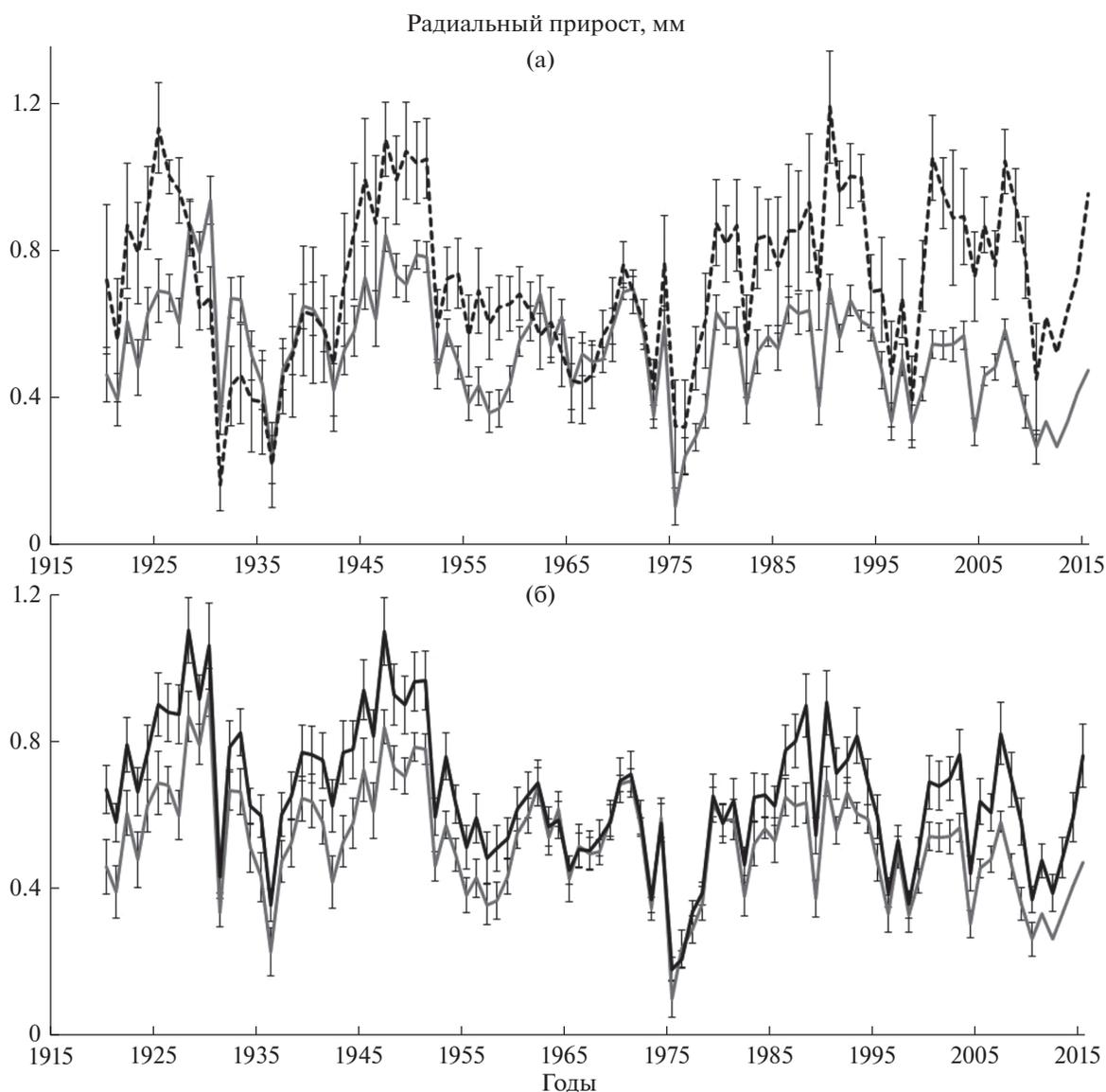


Рис. 3. Различия в средней абсолютной величине годичного прироста между хронологиями по категориям: а – тест-полигоны, не нарушенные рекреацией (серая линия), и пляжные тест-полигоны (пунктирная линия); б – тест-полигоны, не нарушенные рекреацией (серая линия), и мангально-палаточные тест-полигоны (черная линия). Вертикальными линиями обозначены 95%-ные доверительные интервалы.

Отметим, что наиболее часто выпадающие кольца, и не только в годы особенно суровых засух, встречаются на мангально-палаточных ТП (0.94% от всех измеренных годичных колец), меньше на ненарушенных (0.87%) и лишь 0.64% на пляжных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обозначенные нами выше исходные положения о влиянии рекреационной нагрузки на древостой не нашли достаточного подтверждения. В древостоях на рекреационных ТП не выявлено сушевершинности и признаков поражения деревьев насекомыми-вредителями или грибными за-

болеваниями, не изменилась возрастная структура древостоя. Однако обнаружены особенности радиального прироста сосны исследованных территорий, которые ранее не отмечали другие авторы. Важно отметить, что полное вытаптывание и уплотнение почвы не повлияли негативно на величину радиального прироста на тест-полигонах в зоне активной рекреации – пляжных (1б и 3а) и мангально-палаточных ТП (1а, 2а, 3б и 4а), как это показано в исследованиях [18, 19]. Даже длительная и возрастающая во времени (более 100 лет) рекреационная нагрузка в пляжной зоне ТП 3а (Городской пляж) не сказалась на динамике радиального прироста деревьев.

Таблица 3. Матрица коэффициентов корреляции между обобщенными индексированными хронологиями всех исследуемых тест-полигонов (1920–2015 гг.)

Тест-полигоны	1в	1а	1б	2б	2а	3в	3б	3а	4б
1в									
1а	0.89								
1б	0.68	0.77							
2б	<u>0.85</u>	0.76	0.63						
2а	0.84	0.85	0.72	0.87					
3в	<u>0.79</u>	0.85	0.69	<u>0.74</u>	0.76				
3б	0.78	0.84	0.82	0.69	0.79	0.86			
3а	0.67	0.72	0.77	0.6	0.73	0.65	0.78		
4б	<u>0.84</u>	0.86	0.66	<u>0.79</u>	0.81	<u>0.77</u>	0.69	0.59	
4а	0.8	0.85	0.67	0.71	0.78	0.83	0.73	0.66	0.88

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции ($p \leq 0.05$) между пляжными и ненарушенными ТП, подчеркнуты коэффициенты корреляции между ненарушенными ТП, заливкой обозначены коэффициенты корреляции между пляжными и мангально-палаточными ТП.

Не изменилась и возрастная структура древостоев. На ненарушенных и рекреационных ТП на оз. Инышко (2а, 2б) и базе отдыха “Форелька” (4а, 4б) древостои имеют сходную ступенчато-разновозрастную структуру без видимых различий в распределении деревьев по классам возраста. Возможно, это объясняется коротким в масштабе жизни древостоя временем (последние 30–40 лет) использования ТП как рекреационных территорий. На территории Городского пляжа на всех исследованных ТП (3а, 3б и 3в) также сохраняется исходная ступенчато-разновозрастная структура с преобладанием деревьев VIII и IX классов возраста, сложившаяся более 100 лет назад. Аналогичная ступенчато-разновозрастная структура древостоев, только с более равномерным распределением классов возраста, сохраняется на всех ТП территории клуба-отеля “Золотой пляж”. Отсутствие изменений в возрастной структуре исследованных ТП мы объясняем тем, что все территории рекреации возникли в древостоях с уже сложившейся возрастной структурой, характерной для старовозрастных древостоев на этапе их перехода в финальную, относительно устойчивую фазу естественного развития лесных сообществ, наиболее соответствующую местным экологическим условиям [35, 36].

Интересен результат различий по величине прироста годичных колец на разных категориях тест-полигонов. Неожиданной по сравнению с публикуемыми данными [18, 19] оказалась повышенная величина радиального прироста у деревьев из категорий рекреационных ТП (см. рис. 3). Увеличенный радиальный прирост деревьев мангально-палаточной категории ТП мы объясняем отсутствием на них подроста, подлеска и живого напочвенного покрова, особенно из мхов, кото-

рые в условиях ненарушенных ТП могут перехватывать от 30 до 80% выпадающих атмосферных осадков. Эти компоненты вертикальной структуры древостоя также участвуют в транспирации и физическом испарении влаги с поверхности растений [37–41]. Эффект перехвата, транспирации и физического испарения влаги с поверхности растений снижает количество поступающей в почву влаги, что в условиях повторяющихся засух [33, 36] имеет значение: больше влаги поступает в почву – больше величина прироста годичного кольца. Это подтверждается менее выраженной напряженностью связей прироста с температурой и осадками у деревьев мангально-палаточной категории ТП по сравнению с ТП на ненарушенных участках (см. рис. 5а, б).

Повышенные величины ШГК в категории пляжных ТП мы объясняем тем, что водные объекты (водохранилища, реки, озера) влияют на местный климат, смягчая его температурный режим и повышая влажность воздуха [42, 43]. Это влияние ярко выражено в условиях холодного [44], а также сухого и умеренно сухого климата [45]. Известно положительное влияние водных объектов на радиальный прирост деревьев, обусловленное специфическим температурным режимом и влажностью воздуха в зоне их влияния [46–50].

Максимальные значения прироста в категории пляжных ТП обусловлены близостью уреза воды оз. Тургояк. На ТП 3а корневые системы у 2/3 деревьев находятся в зоне волновой абразии берега. Во время волнений озерная вода достигает зоны корневых систем со стороны озера, обеспечивая деревья дополнительной влагой. Для территории с элементами засушливого климата и повторяющихся летних засух [33, 36], когда негатив-

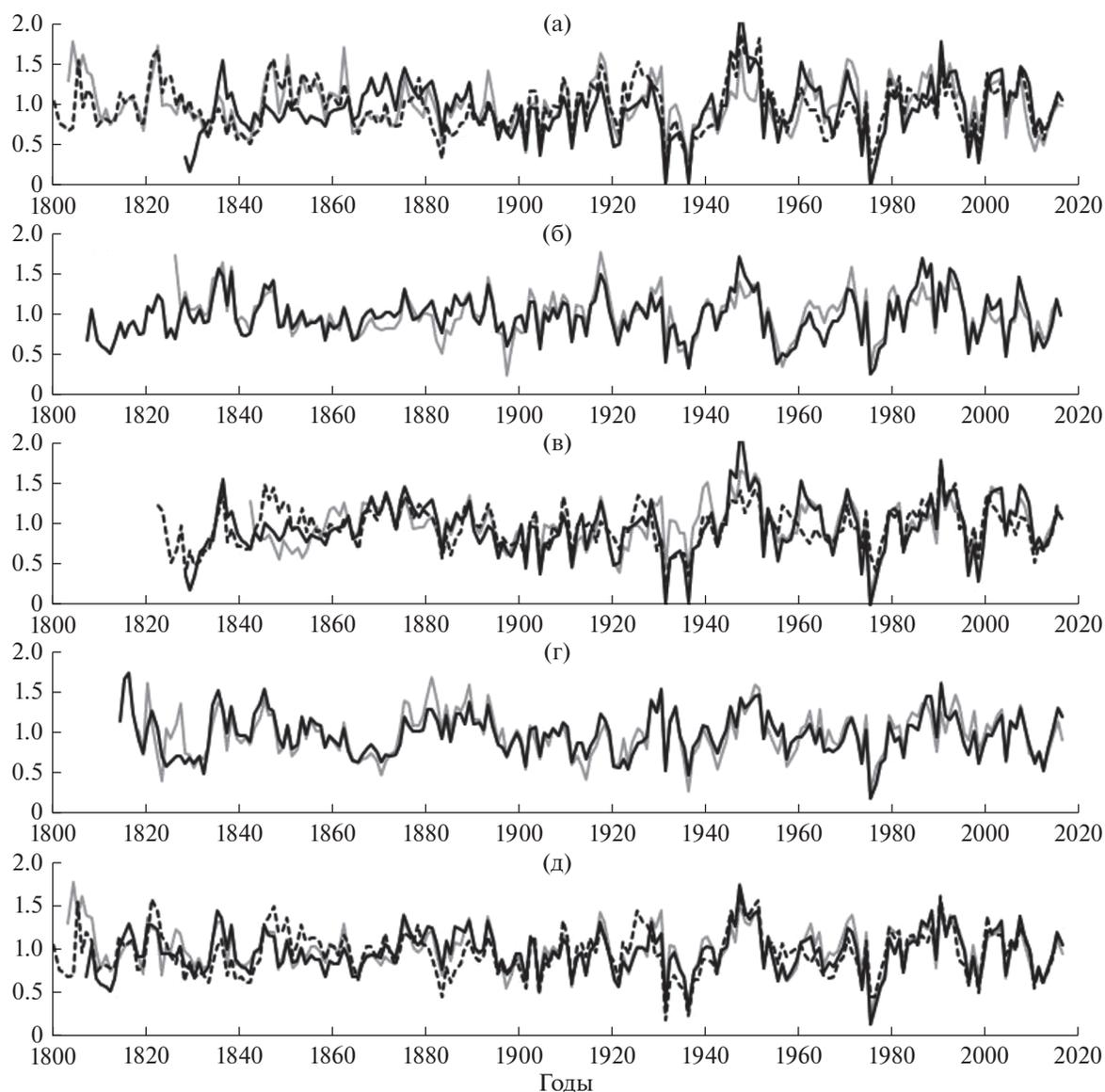


Рис. 4. Индексы прироста обобщенных древесно-кольцевых хронологий на тест-полигонах: а – клуб-отель “Золотой пляж”, б – оз. Инышко, в – Городской пляж, г – база отдыха “Форелька”, д – генерализированные хронологии; серая линия – ненарушенные ТП, пунктирная – пляжные ТП, черная – мангально-палаточные ТП.

ное влияние температуры на прирост наиболее выражено [51], дополнительная влага будет положительно влиять на величину прироста. Кроме того, деревья пляжных ТП произрастают в зоне более высокой влажности воздуха, что также благоприятно сказывается на их развитии, особенно в годы с засухами. Этим объясняется особенность отклика радиального прироста деревьев пляжных ТП на температуру и осадки (см. рис. 5в).

Близость озера изменяет характер связи прироста с климатом – сглаживает негативное влияние температуры, которое проявляется только в июне, и заметно слабее, чем на других категориях ТП. В июне и июле уровень озера достигает се-

зонного максимума, а ветреная погода вызывает волнения и накат воды на пляжные зоны. Вследствие этого на пляжных ТП появляется дополнительный источник влаги, смягчающий напряженность связей прироста с температурой воздуха и атмосферными осадками, что выражается в отсутствии значимых связей прироста с осадками в июне и июле и температурой воздуха в июле (см. рис. 5в). Мы полагаем, что данный комплекс факторов (озерная вода, влажность воздуха) обеспечивает устойчивое жизненное состояние деревьев и повышенный радиальный прирост (см рис. 3а), несмотря на сильное вытаптывание почвы, оголённые корни и механические поранения стволов деревьев этой категории ТП.

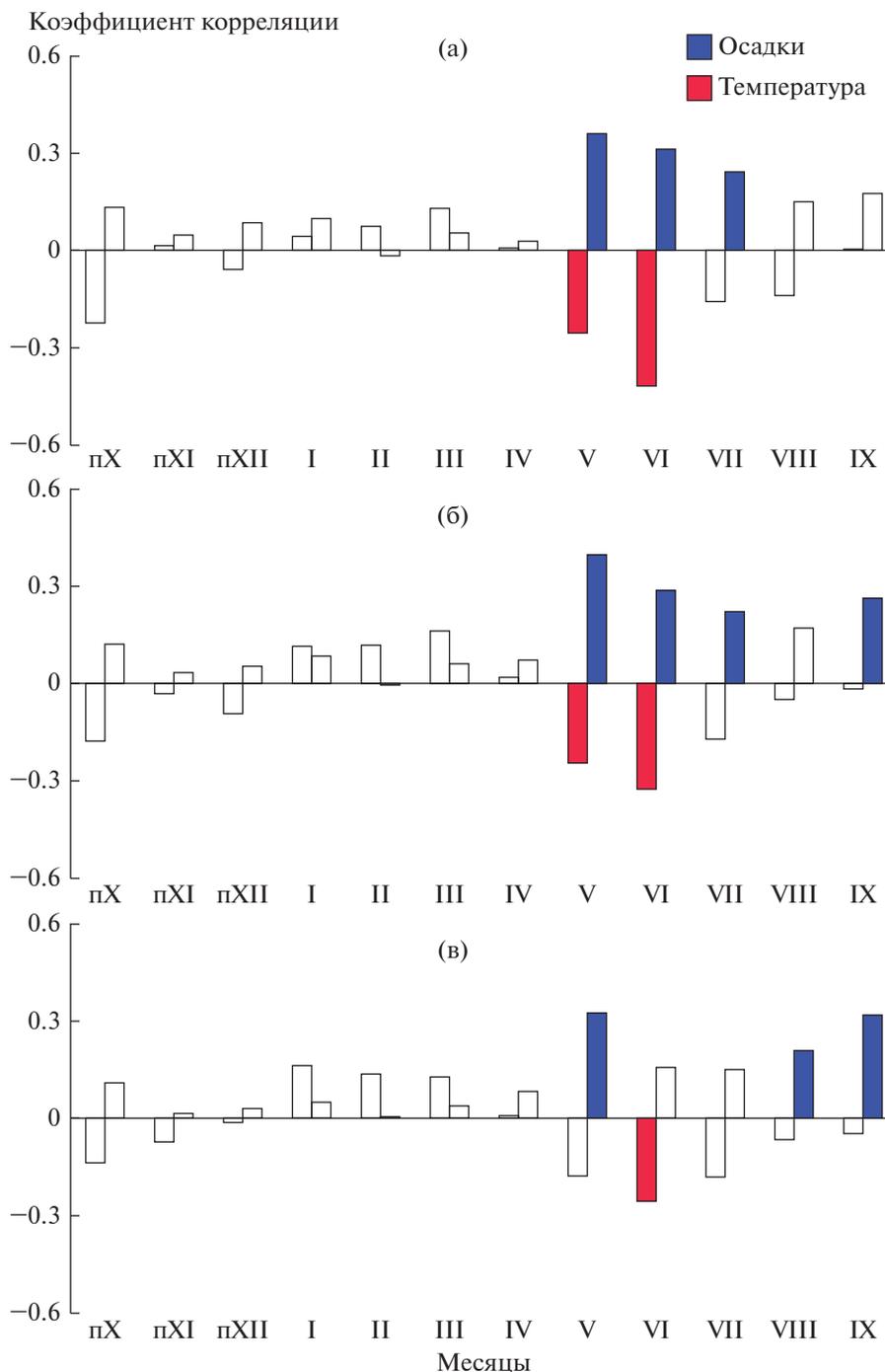


Рис. 5. Значимые коэффициенты корреляции ($p < 0.05$, $n = 79$) между индексами радиального прироста сосны, температурой воздуха (красные столбики) и количеством осадков (синие столбики) с октября предшествующего года (пX) по сентябрь текущего года роста: а – ненарушенные тест-полигоны, б – мангально-палаточные, в – пляжные.

Сходство связи радиального прироста деревьев ненарушенных и мангально-пляжных ТП с температурой воздуха и осадками (см. рис. 5а, б) объясняется единым количеством поступающих атмосферных осадков на фоне общего поля температуры, несмотря на различия в вертикальной структуре ярусов растительности.

Засухи являются основным фактором, вызывающим выпадение годичных колец [51, 52]. Суровые засухи 1931, 1936 и 1975 гг. вызвали наибольшее количество случаев выпадения колец на всех исследованных ТП (см. рис. 6). Наибольшее количество выпавших колец в 1930–2016 гг. выявлено у деревьев в категории мангально-палаточ-

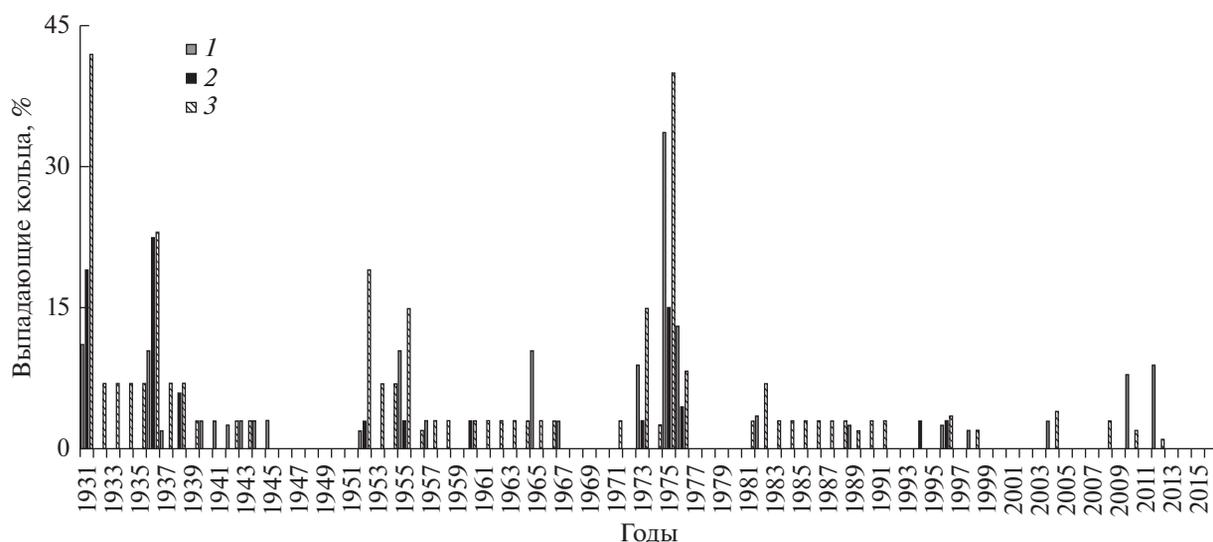


Рис. 6. Выпадающие годовые кольца (% от общего количества годовых колец) в древесно-кольцевых хронологиях сосны в категориях исследованных тест-полигонов: 1 – ненарушенные, 2 – пляжные, 3 – мангально-палаточные.

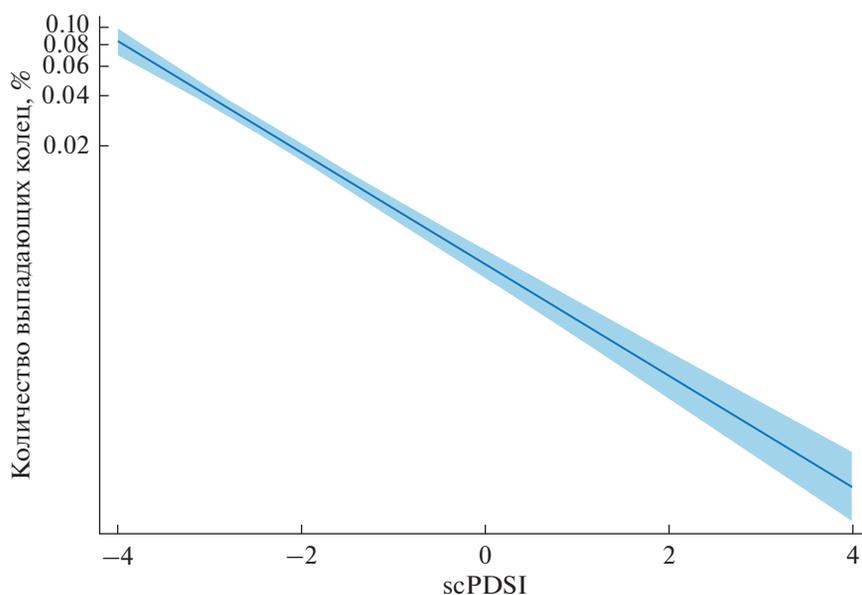


Рис. 7. Зависимость количества выпадающих годовых колец (% от общего количества измеренных колец) от индекса суровости засух Палмера (scPDSI) в индексированных хронологиях из категории мангально-палаточных тест-полигонов: прямая линия – значения связи между исследуемыми параметрами, заливкой показан доверительный интервал 95%.

ных ТП. Оно фиксируется у большего числа деревьев и практически во все годы, когда случались даже непродолжительные засухи. Это явление можно объяснить отсутствием нижних ярусов растительности в вертикальной структуре насаждения. С голой поверхности почвы испарение влаги, особенно при засухе, происходит быстрее и в три фазы: интенсивное испарение, которое зависит исключительно от метеоусловий; убывающее испарение, которое наблюдается при иссушении тонкого поверхностного слоя почвы; фаза

низкого испарения [53]. Известно, что почвы района исследования отличаются невысокой влагоемкостью и хорошей водоотдачей [54]. При наступлении засухи физическое испарение происходит в основном из верхних горизонтов почвы, не прикрытых растительностью, и деревья мангально-палаточной категории ТП практически сразу начинают испытывать недостаток почвенной влаги. Процесс иссушения почвы усиливается ее уплотнением [53]. Исследования хода сезонного роста годовых колец показали, что низкая

влажность почвы лимитирует этот процесс [55, 56], и если засуха приходится на момент дифференциации клеток, то в части ствола дерева годичное кольцо может не сформироваться [57, 58].

Для условий района исследования мы проанализировали связь между частотой выпадения годичных колец с индексом суровости засух Палмера (scPDSI), рассчитанного по гридам. Получена линейная зависимость частоты выпадающих колец от усиления индекса суровости засух scPDSI. Анализ показал, что чем суровее/жестче засуха, тем больше случается выпадений годичных колец у деревьев мангально-палаточных ТП (рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно утверждать, что радиальный прирост деревьев не всегда может быть использован как оценочный критерий степени деградации территории под влиянием рекреации. Оценка степени рекреационной дигрессии по площади, вытопанной до минерального горизонта почвы, т.е. до V стадии рекреационной дигрессии, не всегда обуславливает ухудшение жизненного состояния основного яруса древостоя, в частности не вызывает снижения радиального прироста. В нашем случае старовозрастные древостои сосны обыкновенной со сложившейся возрастной структурой оказались достаточно устойчивыми к интенсивной рекреационной нагрузке. Близость естественного водоема и обусловленная этим повышенная влажность воздуха могут компенсировать негативное влияние рекреационной нагрузки и засух. В условиях повторяющихся засух выпадение годичных колец наиболее характерно для территорий с высокой рекреационной дигрессией и обусловлено отсутствием подроста, подлеска и живого напочвенного покрова из-за вытаптывания и уплотнения почвы. Интенсивное физическое испарение с поверхности почвы на фоне засухи в период формирования годичных колец (май–июнь) обуславливает потери почвенной влаги, что сопровождается явлением выпадающих колец, хорошо фиксируемым в древесно-кольцевых хронологиях. Поскольку климат территории исследования характеризуется повторяющимися засухами, можно предположить, что наиболее опасным для жизненного состояния старовозрастных древостоев может быть синергетический эффект от влияния повторяющихся засух на фоне возрастающей рекреационной нагрузки.

Исследование выполнено в рамках программы фундаментальных научных исследований ИЭРиЖ УрО РАН (НИР № 122021000093-6), а также при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00591).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPBES Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (Version 1) // Zenodo, 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5657041>
2. *Весновский В.А.* Путеводитель по курортам Урала. Минеральные воды, целебные грязи, кумысолечебницы, санатории, климатические станции, кумысолечебные пункты в губерниях: Пермской, Вятской, Уфимской, Оренбургской и Самарской. Екатеринбург, 1902. 166 с.
3. *Сементовский В.Н.* Жемчужина Южного Урала. Озеро Тургояк // Природа и люди. 1913. № 13. С. 225–228.
4. *Сементовский В.Н.* Тургояк. 1916. Издание автора. 60 с.
5. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 638 с.
6. ОСТ 56-84-85 Использование лесов в рекреационных целях. Термины и определения. М.: Изд. офиц., 1986. 7 с.
7. *Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н.* Рекреационные леса. М.: Лесная пром-сть, 1977. 96 с.
8. *Рысин Л.П., Абатуров А.В., Савельева Л.И.* и др. Динамика и устойчивость рекреационных лесов. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2006. 165 с.
9. *Кузнецов В.А.* Почвы и растительность парково-рекреационных ландшафтов Москвы: Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. 170 с.
10. ОСТ 56-100-95 Методы и единицы рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. М.: Изд. офиц., 1995. 14 с.
11. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: Справочник / Под ред. Загребеева В.В. М.: Колос, 1992. 494 с.
12. Рекомендации по оценке последствий рекреационного лесопользования в лесопарках Москвы // Состояние зеленых насаждений и городских лесов в Москве. Аналитический доклад по данным мониторинга 1999. М., 2000. С. 213–226.
13. *Конашова С.И.* Эколого-лесоводственные основы формирования и повышения устойчивости рекреационных лесов: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 36 с.
14. *Хайретдинов А.Ф., Конашова С.И.* Рекреационное лесоводство. М.: МГУЛ, 2002. 308 с.
15. *Оборин М.С.* Особенности анализа рекреационной и антропогенной нагрузки вследствие санаторно-курортной и туристской деятельности // Географический вестник. 2010. № 2. С. 19–24.
16. *Васильева И.Н.* Влияние вытаптывания на физические свойства почвы и корневые системы растений // Лесоводственные исследования в Серебряноборском опытном лесничестве. М.: Наука, 1973. С. 36–44.

17. Гласова Н.В., Феклистов П.А. Состояние древостоя рекреационных ельников-черничников // Вестн. Поморского ун-та. Серия: Естественные и точные науки. 2005. Т. 1(7). С. 61–65.
18. Киселева В.В., Ломов Д.В., Обьденников В.И., Титов А.П. История и современное состояние сосняков Алексеевской роши национального парка “Лосиный остров” // Лесоведение. 2010. № 3. С. 42–52.
19. Матвеев С.М., Мироненко А.В., Тимащук Д.А. Лесоводственный и дендроклиматический анализ искусственных сосновых фитоценозов, подверженных рекреационной дигрессии в пригородной зоне г. Воронежа // Журнал Сибирского федер. ун-та. Биология. 2015. Т. 8. № 4. С. 410–425.
20. Данчева А.В. Влияние рекреационной нагрузки на естественное возобновление сосновых насаждений Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала. 2011. № 11 (90). С.22–23.
21. Рысин Л.П., Рысин С.Л. Урболесоведение. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2012. 240 с.
22. Фильрозе Е.М. Закономерности естественного лесовозобновления в лесах Ильменско-Вишневогорского лесорастительного района // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. II. Челябинская обл. / Труды Ин-та биол. УФАИ. Свердловск, 1961. Вып. 25. С. 83–96.
23. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. 408 с.
24. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В и др. Методы дендрохронологии. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. Ч. 1. 80 с.
25. Rinn F. TSAP. Reference Manual. Version 3.0. Heidelberg, 1996. 263 p.
26. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. V. 43. № 3. P. 69–78.
27. R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2019 URL. www.R-project.org/
28. Cook E.R., Peters K. Detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies // Tree-Ring Bull. 1981. V. 41. P. 45–53.
29. Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. 2020. Sci. Data 7. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
30. Biondi F., Waikul K. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies // Computers & Geosciences, 2004. V. 30. P. 303–311.
31. Колесников Б.П., Трусов П.Ф., Фильрозе Е.М. Опыт применения генетической классификации типов леса при устройстве лесов Ильменского заповедника // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области / Труды Ин-та биол. УФАИ. Свердловск, 1961. Вып. 26. С. 45–71.
32. Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. 1970. № 2. С. 24–33.
33. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Тр. Гидрометеорол. науч.-исслед. центра РФ. 2011. № 345. С. 171–188. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16555543>
34. Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences / Cook E.R., Kairukstis L.A. Eds. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
35. Основы лесной биогеоценологии. Ред. Сукачев В.Н., Дылис Н.В. М.: Наука, 1964. 571 с.
36. Колесников Б.П. Лесорастительные условия и лесохозяйственное районирование Челябинской области // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области / Труды Ин-та биол. УФАИ. Свердловск, 1961. Вып. 26. С. 3–44.
37. Burgy R.H., Pomeroy C.R. Interception Losses in Grassy Vegetation // Transactions, American Geophysical Union. 1958. V. 39. No. 6. P. 1095–1100.
38. Corbett E.S., Crouse R.P. Rainfall interception by annual grass and chaparral losses compared // U.S. Forest Serv. Res. Paper PSW-48. 1968. Berkeley, Calif., Pacific SW. Forest & Range Exp. Sta. 12 p.
39. Thurrow T.L., Blacicburn W.H., Warren S.D., Taylor C.A. Rainfall interception by midgrass, shortgrass, and live oak mottes // J. of Range Management. 1987. V. 40. № 5. P. 455–460.
40. Elumeeva T.G., Soudzilovskaia N.A., During H.J., Cornelissen J.H. The importance of colony structure versus shoot morphology for the water balance of 22 subarctic bryophyte species // J. Veg. Sci. 2011. V. 22. P. 152–164. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01237.x>
41. Oishi A., Miniat C., Novick K. et al. Warmer temperatures reduce net carbon uptake, but do not affect water use, in a mature southern Appalachian forest // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 252. P. 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.011>
42. Вендров Л.С., Дьяконов К.Н. Водохранилища и окружающая среда. М.: Наука, 1976. 136 с.
43. Савкин В.М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 109–121.
44. Фоминых Л.А., Чугур В.Г. Оазисы Севера. Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1988. 170 с.
45. Degu A.M., Hossain F., Niyogi D. et al. The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns // Geophys. Res. Lett. 2011. 38. L04405. <https://doi.org/L046482> <https://doi.org/10.1029/2010G>
46. Агафонов Л.И. Радиальный прирост древесной растительности в пойме Нижней Оби // Сибирский экологич. журн. 1999. № 2. С. 135–144.
47. Agafonov L.I., Gurskaya M.A. The Influence of the Lower Ob River runoff on radial growth of trees // Contemporary Problems of Ecology. 2013. V. 6. № 7. P. 779–787.

48. *Agafonov L.I., Meko D.M., Panyushkina I.P.* Reconstruction of Ob River, Russia, discharge from ring widths of floodplain trees // *J. of Hydrology*. 2016. V. 543. P. 198–207.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.031>
49. *Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Meko D.M.* et al. Climate change and tree growth in the Khakass-Minusinsk Depression (South Siberia) impacted by large water reservoirs // *Scientific Reports*. 2021. V. 11. 14266.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-93745-0>
50. *Arzac A., Diaz de Quijano D., Khotcinskaia K.I.* et al. The buffering effect of the Lake Baikal on climate impact on *Pinus sylvestris* L. radial growth // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022. V. 313. 108764.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108764>
51. *Agafonov L.I., Guskaya M.A., Kukarskih V.V.* et al. Insular Pine Forests of the Southern Urals and Ribbon Pine Forests of the Altai as Objects of Dendroclimatic Research // *Russ. J. Ecol.* 2021. V. 52. P. 349–357.
<https://doi.org/10.31857/S0367059721050036>
52. *Fonti P., Babushkina E.A.* Tracheid anatomical responses to climate in a forest-steppe in Southern Siberia // *Dendrochronologia*. 2016. V. 39. P. 32–41.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.09.002>
53. *Шеин Е.В.* Курс физики почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
54. *Миронов Б.А.* Гидрологические особенности лесов Ильменского заповедника // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. II. Челябинская область / Труды Ин-та биол. УФАН. Свердловск, 1961. Вып. 25. С. 33–46.
55. *Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V.* Growth dynamics of conifer tree rings. images of past and future environments // *Ecological Studies*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. V. 183. 362 p.
56. *Antonova G.F., Stasova V.V.* Seasonal distribution of processes responsible for radial diameter and wall thickness of Scots pine tracheids // *Сибирский лесн. журн.* 2015. № 2. С. 33–40.
57. *Novak K., de Luis M., Čufar K., Raventósa J.* Frequency and variability of missing tree rings along the stems of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea* from a semiarid site in SE Spain // *Journal of Arid Environments*. 2011. V. 75. Issue 5. P. 494–498.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.005>
58. *Novak K., de Luis M., Saž M.A.* et al. Missing rings in *Pinus halepensis* – the missing link to relate the tree-ring record to extreme climatic events // *Front. Plant Sci.* 31 May 2016.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00727>