

## ОЧАГОВЫЕ УСЫХАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ МИНУСИНСКИХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ

S.S. Kulakov

### THE FOCUS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. WITHERING IN THE CONDITIONS OF MINUSINSK TAPE PINE FORESTS

**Кулаков С.С.** – мл. науч. сотр. лаб. лесных культур, микологии и фитопатологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: hbz\_sibstu@mail.ru

**Kulakov S.S.** – Junior Staff Scientist, Lab. of Forest Cultures, Mycology and Phytopathology, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Separate Division of FRC KRC, Krasnoyarsk Krasnoyarsk. E-mail: hbz\_sibstu@mail.ru

Цель исследования – поиск закономерности образования очагов усыхания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от эдафических условий, изменения климата, биологической продуктивности, внутривидовой конкуренции, которые влияют на устойчивость сосновых лесов к корневым гнилям, вызываемым *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. и *Armillaria mellea* s.l. Объектами исследования являлись лесные массивы сосны обыкновенной различного санитарного состояния на территории Минусинской котловины. Были заложены 27 круговых постоянных пробных площадей с картированием из центра через измеряемые угол и расстояние. У примыкающих к очагам усыхания сырорастущих деревьев сосны были взяты керны. В качестве контроля были выбраны аналогичные по составу, возрастной структуре, строению древостою, не имеющие каких-либо признаков поражения корневыми патогенами и другими болезнями. Для исследования влияния эдафических условий на процессы развития заболевания на удаленной от Енисея части Минусинских ленточных боров в 8 очагах усыхания (опыт) и на удалении от их зафиксированных границ было сделано 30 почвенных разрезов, взято 172 образца почвы для измерения влажности и содержания физической глины. Доказана определяющая роль корневых патогенов в куртинном усыхании сосновых лесов. В очагах поражения сосны в засушливый период влажность почвы в корнеобитаемом слое почвы составляет 12,4 % (максимальное значение

25,5 %). В контроле соответственно 9,16 и 18,4 %. Содержание физической глины в очагах усыхания *Pinus sylvestris* и контрольном насаждении имеет существенное различия ( $P < 0,05$ ) и составляет соответственно 13,9 и 7,8 %. Установлен меньший (в сравнении с контролем) уровень корреляции между радиальным приростом и осадками в очагах усыхания, что хорошо согласуется с результатами эдафических исследований. Выявлено, что почвы с повышенным содержанием физической глины обеспечивают поддержание постоянной умеренной влажности и определяют высокую вероятность развития заболевания, вызываемого *H. annosum* s. str. и *A. mellea* s.l.

**Ключевые слова:** *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str., *Armillaria mellea* s.l., физическая глина, корневые патогены, эдафические условия.

The research objective was to find out the regularity of formation of the centers of *Pinus sylvestris* L. withering, depending on edaphic conditions, climate change, biological efficiency, inner competition influencing the resistance of pine woods against root rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. and *Armillaria mellea* s.l. The objects of the research were forests of *Pinus sylvestris* L. in various sanitary states on the territory of Minusinsk Tape. 27 circular constant test areas with mapping from the center through measured corner and distance were put. The cores were taken from humid conditioned trees of the pine adjoining the centers of withering. As control of forest

stands, those similar in structure, age, having no signs of defeat by root pathogens and other diseases were chosen. For the research of influence of edaphic conditions on the development of the disease in the part of Minusinsk tape pine forests, remote from the Yenisei, in 8 centers of withering (experimental) and on the removal from their recorded borders 30 soil cuttings were made, 172 samples of the soil for measurement of humidity and the content of physical clay were taken. The main role of root pathogens in curtain withering of pine woods was proved. In the centers of defeat of the pine during drought period the humidity of soil in its root layer made 12.4 % (the maximum value of 25.5 %). In control it was 9.16 and 18.4 % respectively. The content of physical clay in the centers of withering of *Pinus sylvestris* and control planting had essential distinctions ( $R < 0.05$ ) and made respectively 13.9 and 7.8 %. The correlation level between radial gain and rainfall in withering centers well coordinating with the results of edaphic researches was smaller (in comparison with control). It was revealed that the soils with raised content of physical clay provided the maintenance of constant moderate humidity and showed high probability of development of the disease caused by *H. annosum* s. str. and *A. melleas* s. l.

**Keywords:** *Heterobasidion annosum* (Fr.) Brefs. str., *Armillaria melleas* s. l., physical clay, root pathogens, edaphic conditions.

**Введение.** Изменения, происходящие в борельных лесах, на протяжении последних 20–30 лет привлекают все большее внимание исследователей и общественности. Неблагоприятные факторы различного характера, такие как вспышки массового размножения насекомых, техногенное загрязнение, различные виды рубок, межрегиональное перемещение болезней и вредителей, увеличения аридности климатических условий и ряд других факторов, а также их различное сочетание являются основными причинами современной дигрессии лесов [2, 6, 7, 13]. В большей или меньшей степени проблема усыхания хвойных и лиственных лесов характерна для всех стран. Однако для части территории США, Канады и России она становится определяющей в системе ведения лесного хозяйства. Глобальное изменение климата предполагает увеличение интенсивности и частоты экстремальных явлений. Так, в США в результате сочетания экстремальной засухи 2006 г. и

ложной весны 2007 г., которая вызвала необратимое повреждение важных проводящих сосудов в ранней древесине, в сочетании с тремя слабыми корневыми патогенами (*Biscogniauxia mediterranean*, *Botryosphaeria obtusa* и *Discula quercina*) привело к гибели нескольких десятков гектар дубрав [1]. Усыхание хвойных лесов происходит на фоне ценотического ослабления от различных факторов (старение древостоя, засуха, маломощные истощенные почвы и (или) их неблагоприятная структура, рост численности популяций стволовых вредителей) и формирования условий, благоприятных для роста вирулентности и агрессивности корневых патогенов (рост приземной температуры воздуха, почвы; рост ветровой нагрузки, способствующий образованию раневых гнилей; различные виды рубок) [9].

**Цель исследования:** поиск закономерности образования очагов усыхания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от эдафических условий, изменения климата, биологической продуктивности, внутривидовой конкуренции, которые влияют на устойчивость сосновых лесов к корневым гнилям, вызываемым *Heterobasidion annosum* (Fr.) Brefs s. str. и *Armillaria mellea* s.l.

**Методика и объекты исследования.** Объектами исследования являлись лесные массивы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Минусинской котловины. Они расположены в непосредственной близости от крупных промышленных центров Хакасии и юга Красноярского края и выполняют значимые рекреационные, эколого-стабилизирующие и водоохраные функции. Располагаясь среди степей, на значительном удалении от морей и океанов, они испытывают весь комплекс неблагоприятных климатических воздействий [4].

Были заложены 27 круговых постоянных пробных площадей (табл. 1) с картированием из центра через измеряемые угол и расстояние [5]. Данный метод имеет значительные преимущества (в сравнении с методами, предполагающими разбивку исследуемой территории регулярной сеткой) при изучении кольцевых процессов, например распространения агрессивных видов грибных возбудителей. При значительном снижении трудоемкости сохраняется высокая точность определения координат. Программное обеспечение, работающее в качестве расширения ArcView GIS, позволяет не только произво-

дить автоматизированную визуализацию, но и осуществлять расчет таксационных показателей. Геоинформационные технологии позволяют

осуществлять расчет по любым сегментам пробной площади (кольцо, сектор).

Таблица 1

## Характеристика исследуемых насаждений (Лугавское лесничество)

№ п/п	Квартал / выдел	Состав	Наличие корневых патогенов <i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref s. str., <i>Armillaria mellea</i> s.l.	Возраст	Бонитет	Тип леса	Запас, м <sup>3</sup> /га	% усыхания
1	1/24	10С	+	120	3	РТЗМ	450	19,7
2	8/2	10С+С	+	130/80	3	ОСЧОР	430	19,6
3	8/13	10С	+	120	3	БРЗМ	450	18,4
4	20/18	10С+Б+С	+	80/130	1	БРРТ	410	10,3
5	20/22	10С+Б	-	120/70	2	БРЗМ	380	-
6	20/29	10С	+	120	3	РТЗМ	420	39,5
7	24/15	10С+Б	+	120/80	2	БРРТ	530	18,4
8	24/16	10С	-	120	2	РТЗМ	450	
9	40/6	10С	+	120	2	РТЗМ	380	33,1
10	83/2	10С+С	+	120/160	2	БРРТ	370	22,9
11	83/4	10С	+	120	2	РТЗМ	420	31,1
12	83/10	7С3С		120/160	2	БРРТ	390	
13	83/14	7С3С+Б	+	120/200	3	РТЗМ	380	32,1
14	105/12	7С3С+С	+	120/210	3	БРЗМ	360	24,6
15	105/14	8С2С+Б	-	120/230	3	РТЗМ	310	-
16	129/19	10С	-	120	3	БРЗМ	340	-
17	129/20	10С	+	120	3	РТЗМ	460	15,4
18	129/21	7С3С	+	150/100	3	БРЗМ	380	13,9
19	132/12	9С1Б	+	120/80	2	БРРТ	450	35,2
20	133/30	7С2С1Б	+	130/210	3	БРРТ	440	20,9
21	135/20	10С	+	120	2	ОСЧОР	460	22,3
22	136/8	10С+С+Б	+	120/210	2	РТЗМ	450	23,3
23	154/9	7С2С1Б	+	120/200	2	БРРТ	430	24,8
24	154/13	8С2С+Б		120/140	2	РТЗМ	420	-
25	162/18	10С	+	120	2	БРРТ	410	11,2
26	167/14	7С2С1Б	+	120/200	3	БРРТ	310	17,9
27	169/14	10С	+	120	2	БРРТ	420	16,9

Для понимания процессов, приведших к гибели древостой, важно знать не только текущие биометрические характеристики составляющих его элементов, но и иметь полную информацию об их росте и развитии в течение всей предыдущей жизни. Для выполнения этой задачи были привлечены методы дендрохронологии [3]. У примыкающих к очагам усыхания сырорастущих деревьев сосны были взяты керны. В качестве контроля были выбраны аналогичные по составу,

возрастной структуре, строению древостой сосны обыкновенной, не имеющие каких-либо признаков поражения корневыми патогенами и другими болезнями.

Ранее для приенисейской части ленточных боров было установлено, что причиной, способствующей очаговому проявлению заболевания, является наличие прослоек суглинка среди песчаных отложений, способствующей формированию оптимальной для корневой губки влажности

[8]. Для исследования влияния эдафических условий на процессы развития заболевания на удаленной от Енисея части Минусинских ленточных боров в 8 очагах усыхания (опыт) и на удалении от их зафиксированных границ было сделано 30 почвенных разрезов, взято 172 образца почвы для измерения влажности и содержания физической глины.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате продолжающихся исследований глобального изменения климата подтвержден устойчивый рост температуры приземного слоя воздуха. По оценке экспертов МГЭИК, с 1880 по 2012 г. средняя глобальная температура воздуха повысилась на 0,85 °С, а тридцатилетний период с 1983 по 2012 г., вероятно, был самым теплым в Северном полушарии за по-

следние 1400 лет. Одним из выводов Пятого доклада МГЭИК является утверждение, что потепление будет продолжаться и его величина по большинству рассмотренных сценариев превысит 1,5 °С к концу XXI в. по сравнению с 1850–1900 гг. Причиной потепления, как и в предыдущих докладах, назван антропогенный фактор – увеличение в атмосфере парниковых газов [4]. Увеличение среднегодовой температуры приземного слоя воздуха за период 2001–2008 гг. относительно 1990–2000 гг. составило +0,43 °С и продолжает увеличиваться. Так, по данным на 2015 г. изменение уже составило +0,75 °С. На рисунке 1 показан график температуры исследуемого региона за май – октябрь с 1915 по 2015 г.

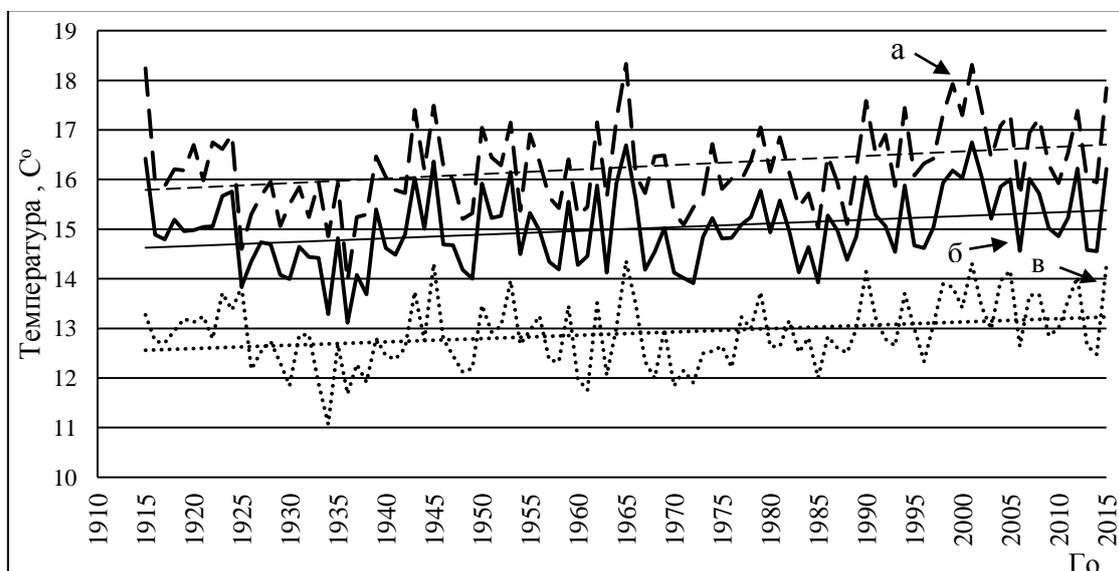


Рис. 1. Средняя температура воздуха по данным станции Минусинск (1915–2015 гг.): а – с мая по август; б – с мая по сентябрь; в – с мая по октябрь

На рисунке 1 довольно наглядно прослеживается тренд увеличения температуры вегетационного периода, даже с учетом умеренных данных в 2013 и 2014 гг. (12,65 и 12,47 °С соответственно). В 2015 г. температура составила уже рекордные 14,28 °С, больше было только в 1945, 1965 и 2001 гг. (14,30; 14,36 и 14,31 °С соответственно). На рисунке 2 изображен график осадков за аналогичный период.

Благодаря специфическим особенностям почвенного покрова Приенисейской части ленточных боров (а именно наличию прослоек суглинка), увеличение количества осадков не может не сказаться на водном режиме почв. В настоящее время маломощный слой покровного

суглинка (30–100 см) встречается лишь на отдельных участках бора, где древняя эрозия была менее интенсивной. После оформления современной гидрографической сети покровный суглинок был частично размыт временными водотоками, а обнажившиеся пески подверглись золотому переотложению [11].

Фрагментарный характер залегания суглинка подтверждается нашими исследованиями. Ведь порой расстояние между почвенными разрезами в очаге и контроле не превышали и 20–30 м. При этом полученные данные имеют значительные отличия. Данные по средней влажности и содержанию физической глины для каждого горизонта приведены в таблице 2.

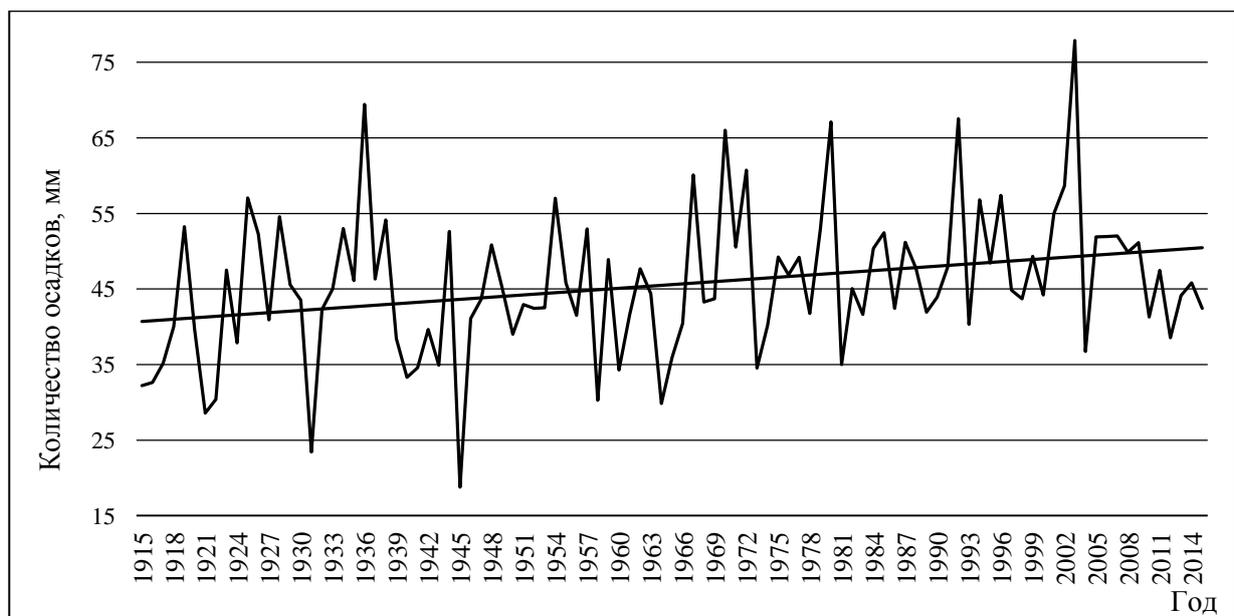


Рис. 2. Среднее количество осадков по данным станции Минусинск с мая по октябрь 1915–2015 гг.

Таблица 2

**Содержание влажности и физической глины в почвенных горизонтах**

Горизонт	Max	Min	Среднее	Max	Min	Среднее
	Влажность, %					
A	25,5	18,3	21,13	18,40	11,42	9,71
AB	16,80	9,71	14,27	14,20	6,43	9,71
B	17,12	5,80	9,89	14,60	3,00	7,79
C	11,52	3,40	6,12	8,41	2,22	5,15
Содержание физической глины, %						
A	19,9	14,25	16,72	12,31	6,23	9,62
AB	17,45	12,32	15,29	8,16	5,20	6,71
B	16,65	8,12	12,57	10,80	5,68	7,47
C	17,47	8,54	10,96	11,10	5,23	7,64

Так, влажность почвы в очагах усыхания колебалась от 4,5 до 25,5 % (среднее значение 12,4 %), а в контрольном насаждении ее параметры находились в интервале от 2,2 до 18,4 % (среднее значение – 9,16 %).

Содержание физической глины в очагах усыхания и контрольном насаждении имеют существенные различия. В очагах ее содержание от 8,12 до 19,9 % (среднее – 13,9 %), в контроле – от 5,20 до 12,31 % (среднее – 7,85 %).

Таким образом, в очагах складываются более благоприятные условия для развития корневой губки (прежде всего, оптимальная влажность в течение всего вегетационного периода),

способствующие повышению ее агрессивности и вирулентности. На участках, где глины выклиниваются, образуя «окна», осуществляется гидравлическая связь между водоносными горизонтами, их подъем. Кроме всего прочего, на суглинистых почвах отмечается более интенсивный рост (в ущерб образованию защитных механизмов) сосны обыкновенной, снижающий ее устойчивость к *Heterobasidion annosum*.

Для понимания причин, определивших быстрое и практически одновременное образование очагов усыхания в приенисейской части Минусинских боров, проведен дендрохронологический анализ древостоев (рис. 3).

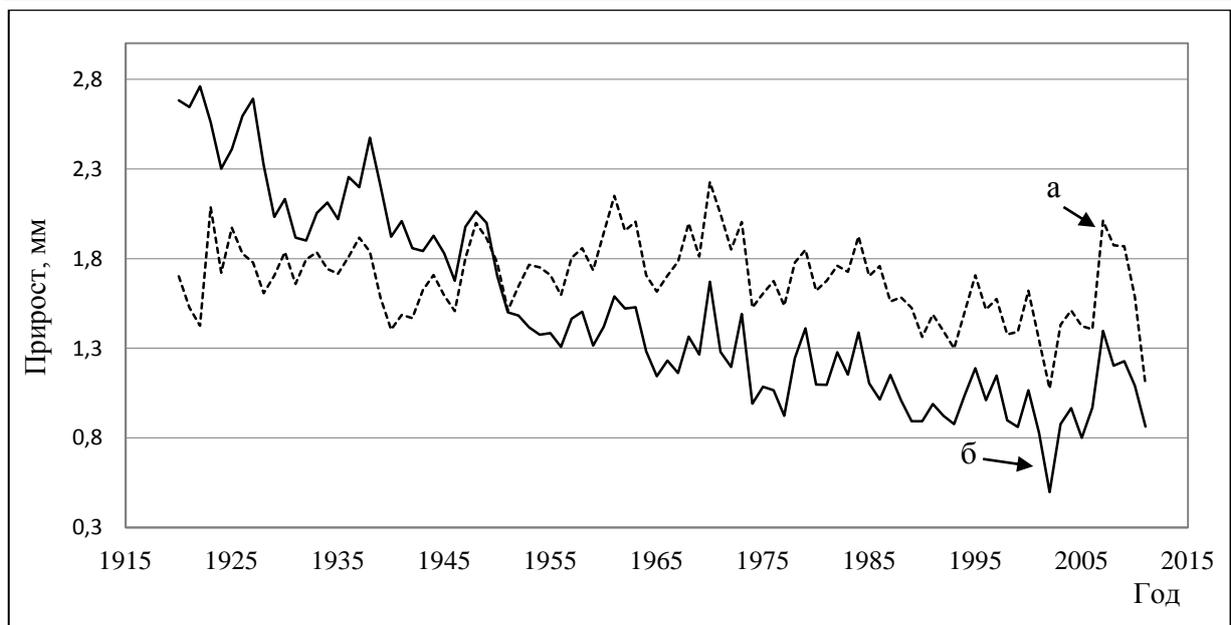


Рис. 3. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной: а – произрастающие на границе или в очаге усыхания; б – ближайший к очагу усыхания древостой без признаков заболевания

Как видно из графика рисунка 3, в очагах усыхания на суглинистых почвах сформировались условия, при которых возник древостой с избыточной загущенностью. Хотя их рост идет и синхронно с контрольным насаждением (до 1950 г.), однако при этом они испытывают влияние «эффекта группового угнетения» [10, 12]. В фазе жердняка происходит отпад ослабленных, неконкурентноспособных и зараженных деревь-

ев, происходит более равномерное размещение отдельных особей на площади, и как следствие – увеличение интенсивности радиального прироста (с 1952 г.), превышающего прирост деревьев из прилегающих насаждений без признаков заболевания.

Для поиска закономерностей влияния погоды на рост сосны обыкновенной предварительно было проведено индексирование прироста (рис. 4).

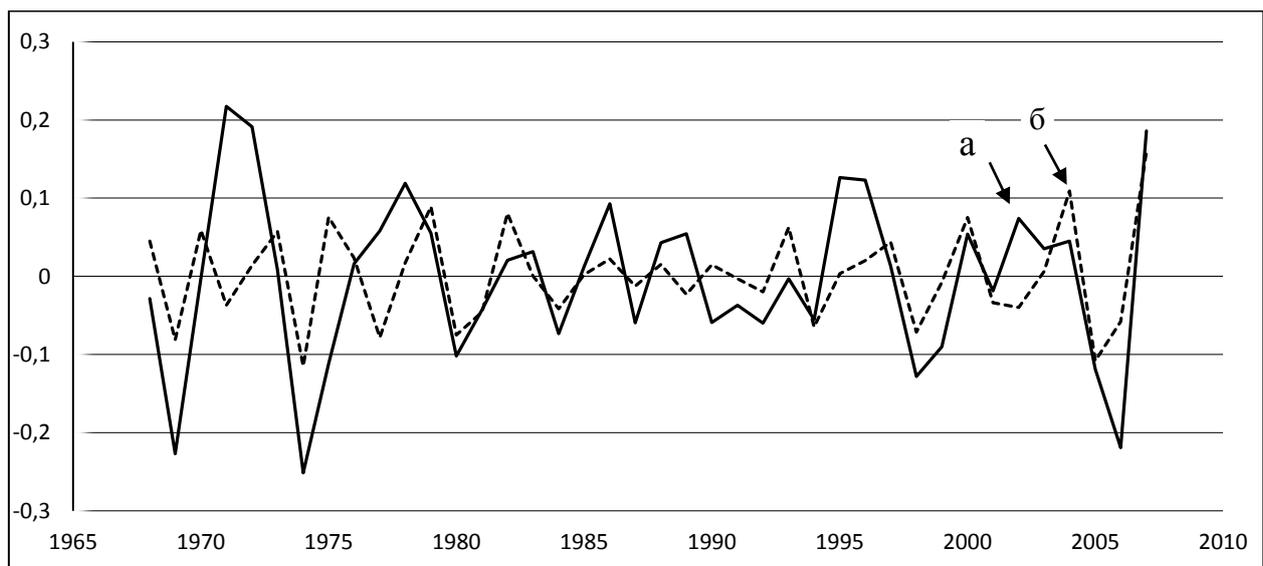


Рис. 4. Индексы радиального прироста сосны обыкновенной: а – очаг; б – контроль



Рис. 5. Зависимость между индексами радиального прироста сосны обыкновенной и количеством осадков текущего года (1968–2007 гг.): а – очаг; б – контроль

Установленный меньший (в сравнении с контролем) уровень корреляции между радиальным приростом и осадками в очагах усыхания хорошо согласуется с результатами эдафических исследований: почвы с повышенным содержанием физической глины обеспечивают поддержание постоянной умеренной влажности и определяют высокую вероятность развития заболевания, вызываемого *H. annosum* s. str. и *A. mellea* s.l.

**Выводы.** Анализ климатических данных метеостанции Минусинск наглядно показывает не только увеличение среднегодовой температуры приземного слоя воздуха (изменение +0,75 °C в 2015 г. относительно 1990–2000 гг.), но и тренд роста средней температуры вегетационного периода (в 2015 г. температура составила рекордные 14,3 °C).

Доказана устойчивая связь между фрагментарным залеганием суглинка и образованием очагов усыхания *P. sylvestris* L. Установлено, что в очагах усыхания содержание физической глины и влажность почвы почти в два раза выше, чем в контрольных насаждениях. Это способствует поддержанию в очаге более благоприятных условий для роста агрессивности и вирулентности *H. annosum* s. str. и *A. mellea* s.l.

На богатых влажных почвах с повышенным содержанием физической глины формируются древостои с избыточной загущенностью. В фазе жердняка происходит отпад ослабленных неконкурентоспособных и зараженных деревьев. Все это способствует накоплению агентов инфекции, повышает вероятность развития заболевания, вызываемого корневыми патогенами.

## Литература

1. Bendixsen D.P. et al. Forest Ecology and Management 347 (2015). – S. 40–48.
2. Алексеев В.В., Киселева С.В., Чернова Н.И. Рост концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере – всеобщее благо // Природа. – 1999. – № 9. – С. 15–21.
3. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.
4. Изменение климата, 2013 г.: физическая научная основа: Вклад I Рабочей группы в Пятый оценочный доклад МГЭИК. – URL: [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_russian.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_russian.shtml).
5. Павлов И.Н. К методике картографирования куртинного усыхания деревьев с применением геоинформационных технологий // Лесное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 38–39.
6. Павлов И.Н., Литовка Ю.А., Кулаков С.С. К вопросу об усыхании побегов пихты сибирской мужского генеративного яруса // IX Чтения памяти О.А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: мат-лы междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016 г.) / под ред. Д.Л. Мусолина, А.В. Селиховкина. – СПб., 2016. – С. 78–79.
7. Павлов И.Н. Биотические и абиотические факторы усыхания хвойных лесов Сибири и Дальнего Востока // Сибирский экологический журнал. – 2015. – Т. 22, № 4. – С. 537–554.

8. Павлов И.Н. и др. Закономерности образования очагов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. в географических культурах сосны обыкновенной (Минусинская котловина) // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. 25. – № 1-2. – С. 28–36.
9. Павлов И.Н. Роль корневых патогенов в массовом усыхании лесов Сибири и Дальнего Востока // VII Чтения памяти О.А. Катаева. Вредители и болезни древесных растений России: мат-лы междунар. конф. – СПб., 2013. – С. 71.
10. Погребняк П.С. Общее лесоводство. – М.: Колос, 1968. – 440 с.
11. Почвенные факторы продуктивности сосняков (на примере ленточных боров Красноярского края). – Новосибирск: Наука, 1976. – 237 с.
12. Романовский М.Г. Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов Европейской России / Рос. академ. наук, Ин-т лесоведения РАН. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 91 с.
13. Стороженко В.Г. Состояние и пораженность дереворазрушающими грибами коренных ельников подзоны северной тайги // Тр. Карельского научного центра РАН. – 2013. – № 6. – С. 153–158.
5. Pavlov I.N. K metodike kartografirovanija kurtinnogo usyhanija derev'ev s primeneniem geoinformacionnyh tehnologij // Lesnoe hozjajstvo. – 2005. – № 4. – S. 38–39.
6. Pavlov I.N., Litovka Ju.A., Kulakov S.S. K voprosu ob usyhanii pobegov pihty sibirskoj muzhskogo generativnogo jarusa // IX Chtenija pamjati O.A. Kataeva. Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ih rol' v lesnyh jekosistemah: mat-ly mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 23–25 nojabrja 2016 g.) / pod red. D.L. Musolina, A.V. Selihovkina. – SPb., 2016. – S. 78–79.
7. Pavlov I.N. Bioticheskie i abioticheskie faktory usyhanija hvojnyh lesov Sibiri i Dal'nego vostoka // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2015. – T. 22, № 4. – S. 537–554.
8. Pavlov I.N. i dr. Zakonomernosti obrazovanija ochagov *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. v geograficheskikh kul'turah sosny obyknovennoj (Minusinskaja kotlovina) // Hvojnye boreal'noj zony. – 2008. – T. 25. – № 1-2. – S. 28–36.
9. Pavlov I.N. Rol' kornevyh patogenov v massovom usyhanii lesov Sibiri i Dal'nego Vostoka // VII Chtenija pamjati O.A. Kataeva. Vrediteli i bolezni drevesnyh rastenij Rossii: mat-ly mezhdunar. konf. – SPb., 2013. – S. 71.
10. Pogrebnyak P.S. Obshee lesovodstvo. – M.: Kolos, 1968. – 440 s.
11. Pochvennye faktory produktivnosti sosnjakov (na primere lentochnyh borov Krasnojarskogo kraja). – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 237 s.
12. Romanovskij M.G. Produktivnost', ustojchivost' i bioraznoobrazie ravninnyh lesov Evropejskoj Rossii / Ros. akad. nauk, In-t lesovedenija RAN. – M.: Izd-vo MGUL, 2002. – 91 s.
13. Storozenko V.G. Sostojanie i porazhenost' derevorazrushajushhimi gribami korenyh el'nikov podzony severnoj tajgi // Tr. Karel'skogo nauchnogo centra RAN. – 2013. – № 6. – S. 153–158.

#### Literatura

1. Bendixsen D.P. et al. Forest Ecology and Management 347 (2015). – S. 40–48.
2. Alekseev V.V., Kiseleva S.V., Chernova N.I. Rost koncentracii SO<sub>2</sub> v atmosfere – vseobshhee blago // Priroda. – 1999. – № 9. – S. 15–21.
3. Vaganov E.A., Shashkin A.V. Rost i struktura godichnyh kolec hvojnyh. – Novosibirsk: Nauka, 2000. – 232 s.
4. Izmenenie klimata, 2013 g.: fizicheskaja nauchnaja osnova: Vklad I Rabochej gruppy v Pjatyj ocenochnyj doklad MGJeIK. – URL: [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_russian.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_russian.shtml).

