

УДК 551.521.510+57.045

## Влияние истощения озонового слоя на процессы деградации хвойных лесов южных регионов Сибири

В.В. Зуев<sup>1,2</sup>, Н.Е. Зуева<sup>1</sup>, Е.М. Короткова<sup>1</sup>, А.В. Павлинский<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 2.08.2016 г.

Проанализированы основные причины роста интенсивности очагового усыхания хвойных лесов на территории Южной Сибири, регистрируемого с 90-х гг. XX в. Показано, что значимым фактором, ослабляющим резистентность хвойных деревьев, могла стать долговременная депрессия озоносферы, обусловленная постоянным присутствием в стратосфере вулканогенного аэрозоля вследствие высокой частоты плинианских извержений вулканов тропического пояса  $VEI \geq 4$ , в результате которой с 1992 по 2012 г. Южно-Сибирский регион находился под непрерывным воздействием повышенных доз коротковолновой УФ-В-радиации.

*Ключевые слова:* усыхание хвойных лесов, общее содержание озона, вулканогенная депрессия озоносферы, коротковолновая ультрафиолетовая радиация; coniferous forests drying out, total ozone, ozone layer volcanic depletion, short-wave ultraviolet radiation.

### Введение

С конца XX в. в умеренных широтах Северного полушария отмечается выраженное усиление процессов деградации хвойных лесных массивов, которые преимущественно проявляются в возникновении многочисленных очагов усыхания хвойных древостоев, нередко охватывающих довольно обширные пространства леса до сотен тысяч и миллионов гектаров [1]. Подобная тенденция может иметь выраженные негативные последствия, поскольку леса умеренных широт являются крайне важным климатообразующим компонентом природной экосистемы. Обладая способностью депонировать углерод в процессе фотосинтеза и накопления собственной органической массы, они играют роль природного резервуара, в котором сосредоточено около 33% мирового запаса углерода [2]. Кроме того, выполняющая средообразующую функцию, бореальные леса являются основополагающим фактором существования многих видов растений и животных [3].

Деградация лесных массивов, как правило, — следствие комплексного воздействия целого ряда внешних факторов [4], к числу которых относятся погоднo-климатические условия, гидрологический режим местности, атмосферная радиация, загрязнение окружающей среды, болезни леса и энтомовредители. В процессе многовековой эволюции деревья выработали широкий спектр механизмов устойчи-

вости и адаптации к неблагоприятным условиям внешней среды. Однако взаимодействие экзогенных факторов может способствовать их взаимному усилению, существенно снижая резистентность растения. В том случае, когда их совокупное воздействие превышает защитные возможности растения, повреждения становятся необратимыми, что приводит к его гибели. К разряду факторов, понижающих устойчивость растений средних широт к негативным воздействиям окружающей среды, относится биологически-активная УФ-В-радиация на длинах волн  $\lambda$  короче 310 нм. Повышенные дозы УФ-В-радиации оказывают отрицательное действие практически на все физиологические процессы растений [5, 6], в том числе на процесс фотосинтеза, непосредственно влияя на фотосинтетический аппарат (ФСА). Чувствительность древесных растений к воздействию коротковолновой УФ-В-радиации определяется как внутренними факторами, прежде всего их видом, генотипом, возрастом, так и состоянием окружающей среды.

Фотосинтетический аппарат хвойных растений фактически толерантен к регулярным изменениям уровня УФ-В-радиации в пределах синоптического периода. Однако непрерывное длительное облучение в течение вегетационного периода способно привести к необратимым повреждениям ФСА [6, 7]. В климатических условиях Южной Сибири наибольшую опасность повышенные дозы приземной УФ-В-радиации представляют в мае, когда начинается рост побегов, и в июне — первой половине июля, поскольку в этот период происходит формирование молодой хвои. Адаптация хвои к УФ-В-облучению осуществляется на различных уровнях организации

\* Владимир Владимирович Зуев (vvzuev@imces.ru);  
Нина Евгеньевна Зуева (vzuev@list.ru); Екатерина Михайловна Короткова (katia\_sova@mail.ru); Алексей Валерьевич Павлинский (wf@inbox.ru).

и определяется ее возрастом. Так, в хвое текущего года фотозащита ФСА реализуется на структурном уровне, хвоя второго года адаптируется на биохимическом уровне за счет синтеза и накопления защитных веществ в клетках эпидермиса [7]. Однако активизация биохимических процессов, направленных на компенсацию повреждающего действия ультрафиолетовой радиации, в целом негативно отражается на физиологическом состоянии хвойных деревьев [6].

В умеренном поясе Северного полушария вариации приземной солнечной радиации на длинах волн  $\lambda \leq 310$  нм обусловлены преимущественно колебаниями общего содержания озона (ОСО), т.е. по сути состоянием озоносферы [8, 9]. Отрицательные озоновые аномалии нелинейно и существенно увеличивают дозу УФ-В-радиации, особенно в наиболее деструктивном диапазоне спектра  $\lambda \leq 305$  нм. Так, при истощении озона в вегетационный период на 20% относительно климатической нормы, доза приземной УФ-радиации на длине волны  $\lambda \sim 300$  нм может увеличиться более чем в два раза [9]. Понятно, что глубокие длительные депрессии озоносферы в течение вегетационного периода, и особенно в его начальной стадии, способны спровоцировать серьезные нарушения функционального состояния ФСА хвойных растений.

## Постановка проблемы

В Южной Сибири со второй половины 90-х гг. регистрируется массовое рассредоточенное очаговое усыхание пихтовых, кедровых и пихтово-кедровых древостоев. Наиболее явно процессы деградации

хвойных лесов проявляются на территориях Кузнецкого Алатау (56° с.ш., 86° в.д. — 53° с.ш., 90° в.д.), Западного (51° с.ш., 89° в.д. — 53° с.ш., 97° в.д.) и Восточного Саянов (56° с.ш., 92° в.д. — 52° с.ш., 103° в.д.), хребта Хамар-Дабан (51° с.ш., 103° в.д. — 52° с.ш., 108° в.д.) (рис. 1).

Этиология усыхания лесных массивов до сих пор остается слабо изученной. Как правило, любые виды лесопатологического мониторинга отражают лишь конкретную стадию патологического процесса, не учитывая его многофакторность и протяженность во времени. Существенное негативное влияние на лесную растительность могут оказывать экзогенные факторы — биологические, химические, физические. Необходимо иметь в виду, что среди значительного количества связанных с древесными растениями организмов, являющихся патологическими агентами, лишь немногие непосредственно вызывают их гибель или частичное отмирание. Основная же часть экзогенных агентов либо снижает резистентность растения, либо, являясь агентами второго эшелона и поселяясь на ослабленном растении, активно способствуют его гибели [10].

Снижение устойчивости деревьев к действию биологических агентов может быть спровоцировано, в частности, климатическими изменениями, проявляющимися в изменениях температурного режима, влажности, количества осадков, действием экотоксикантов. Однако весьма сомнительно, что интенсивное усыхание хвойников в данном регионе было вызвано изменениями климатических условий, поскольку анализ трендов основных метеоэлементов для региона Южной Сибири показал, что в настоящее время в высокогорьях для обитания хвойных

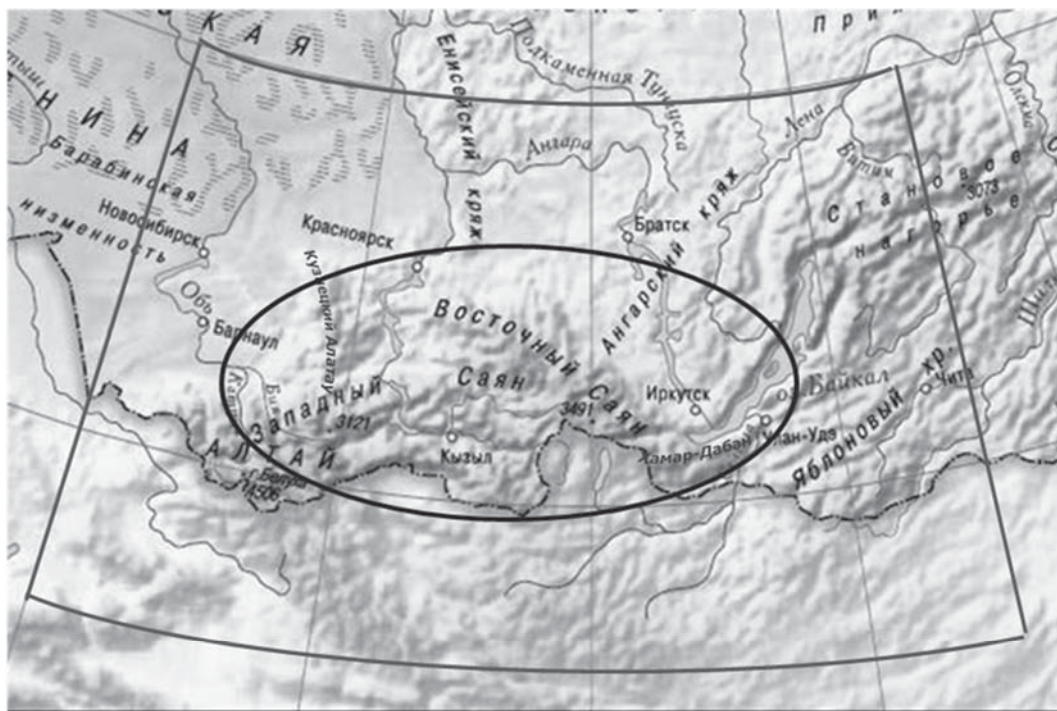


Рис. 1. Физико-географическая карта региона в пределах 45°–60° с.ш. и 80°–115° в.д.; выделены орографические объекты горных районов Южной Сибири, в которых регистрируются основные очаги усыхания хвойных лесов

видов складываются благоприятные условия [11, 12]. Фактором, способствующим деградации хвойных лесов, могут стать индустриальные выбросы эксаэрогенных. Как правило, на территориях вблизи развитых промышленных центров регистрируется накопление в хвое компонентов техногенных эмиссий, очевидно оказывающих ослабляющее воздействие на древостой. Действительно, все объекты зоны усыхания хвойных (рис. 1) в той или иной степени находятся под воздействием выбросов загрязняющих веществ предприятий Кемеровской области, Красноярского края, Иркутской области и Бурятии. Однако в горах Хамар-Дабана прямого влияния выбросов промышленных токсикантов на состояние древостоев обнаружено не было [13, 14]. Фитопатологические обследования указывают на то, что в последние десятилетия усыхание кедрово-пихтовых лесов Хамар-Дабана происходит вследствие хронического заболевания, имеющего тип некроза, причина которого остается неясной [14, 15]. В Кемеровской области, несмотря на активное развитие промышленности на протяжении всего XX в., начало массового усыхания пихтовых лесов Кузнецкого Алатау датируется серединой 1990-х гг. [16]. В целом степень антропогенной нагрузки на выделенных орографических объектах различна. Тем не менее усиление масштабов деградации хвойных лесов в регионе началось синхронно в начале 90-х гг. прошлого столетия, что указывает на появление в этот период общего дополнительного экзогенного фактора, снижающего резистентность растений. Таким фактором могло стать долговременное повышение уровня биологически активной УФ-В-радиации, обусловленное длительной депрессией стратосферного озона. Таким образом, необходимо проанализировать динамику поведения озоносферы над территориями Южной Сибири, в которых регистрируются основные очаги усыхания хвойных лесов, оценить изменения приземного уровня коротковолновой УФ-В-радиации и длительность ее воздействия.

## Результаты и их обсуждение

Как правило, начало вегетационного периода в умеренном и холодном климатических поясах связывают с весенним переходом среднесуточных температур воздуха через 0 °С, что фактически происходит в начале мая. В это время у хвойных древостоев начинается фотосинтезировать хвоя прошлых лет, появляются молодые побеги [6, 17]. В июне–июле в период максимума солнцестояния происходят рост и формирование листовой пластины и ФСА молодой хвои, но уже в начале сентября начинают проявляться признаки осеннего расцветания старой хвои. Поскольку УФ-В-радиация оказывает влияние непосредственно на фотосинтетический аппарат растений, внутригодовой ряд ОСО был ограничен временным интервалом с мая по август, который в дальнейшем будет именоваться вегетационным периодом.

На рис. 2 представлен временной ряд осредненных за вегетационный период (май–август) зна-

чений ОСО за 1979–2012 гг. над территорией, ограниченной координатами 45°–60° с.ш. и 80°–115° в.д. (рис. 1). Информация о среднемесячных значениях ОСО была получена с использованием системы реанализа спутниковых данных TEMIS, представляющих собой ряды с разрешением 0,5° по широте и долготе [18].

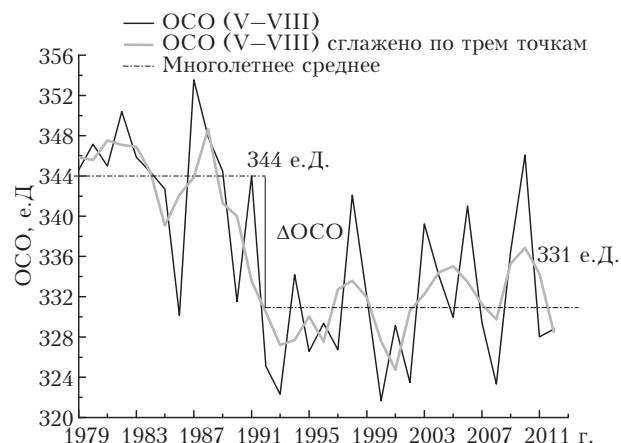


Рис. 2. Динамика поведения озоносферы с мая по август 1979–2012 гг. для территории Южной Сибири

Принимая во внимание квазидвухлетнюю изменчивость суммарного озона, для выявления основных закономерностей было выполнено сглаживание временного ряда по трем точкам (рис. 2). Явно проявляются два временных интервала, 1979–1991 и 1992–2012 гг., характеризующиеся разным многолетним средним уровнем ОСО. В формировании отрицательного ступенчатого изменения характера долгопериодных изменений ОСО основную роль сыграла глубокая депрессия стратосферного озона в умеренных широтах Северного полушария после извержения вулкана Пинатубо в июне 1991 г. на Филиппинах [19]. В целом для указанных временных интервалов разница многолетних средних значений ОСО ( $\Delta$ ОСО) за период май–август составляет 13 е.д., т.е. около 4% (рис. 2). Фактически это соответствует повышению приземного уровня УФ-В-радиации длин волн 300–305 нм на 15–25% и более чем на 35% для  $\lambda \sim 295$  нм [9]. В мае и июне во время формирования и интенсивного роста молодой хвои, наиболее уязвимой к воздействию УФ-В-радиации, различия среднемесячных значений ОСО достигают 16 е.д., в июле и августе — 13 и 8 е.д. соответственно. Неоднородность поля распределения разности многолетних средних 1992–2012 и 1979–1991 гг. за вегетационный период и среднемесячных значений ОСО с мая по август тех же временных интервалов, обусловленная в том числе общей циркуляцией атмосферы и орографическими особенностями региона [20, 21], визуализировалась в программе Surfer в виде карт изолиний (рис. 3). Видно, что выделенная область деградации хвойных лесов находится в зоне многолетнего (1992–2012 гг.) дефицита ОСО и, следовательно, повышенных доз коротковолновой УФ-В-радиации.

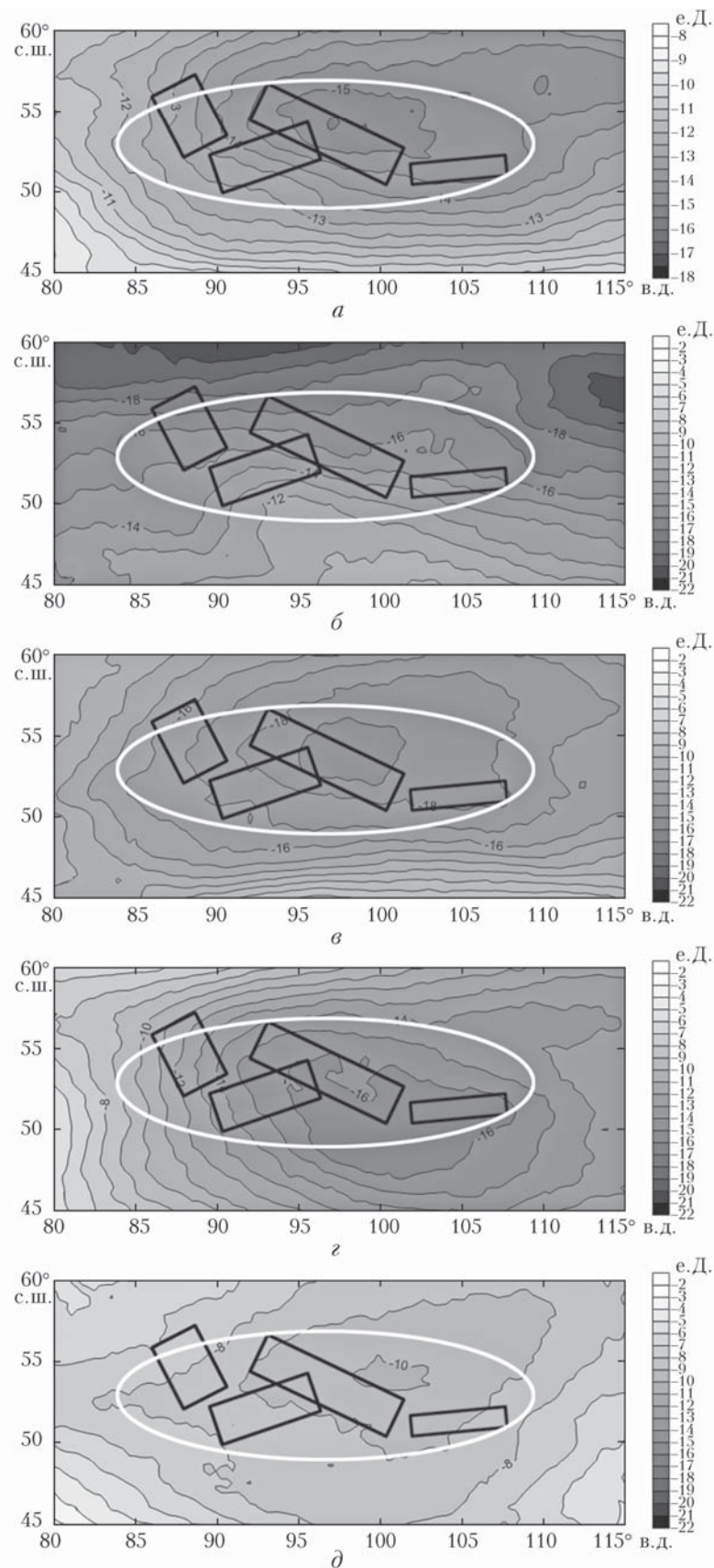


Рис. 3. Распределение разности средних значений ОСО периодов 1992–2012 и 1979–1991 гг. над Южно-Сибирским регионом (*a* – май–август; *b* – май; *v* – июнь; *z* – июль; *д* – август); выделена область деградации хвойных лесов и ее основные орографические объекты

В среднем с 1992 г. для вегетационного периода в выделенной области истощение ОСО составляет 13–15 е.Д. (рис. 3, *a*). На рис. 3, *б–д* ярко проявляется пространственно-временная изменчивость поля разности среднемесячных значений ОСО. Очевидно, что в мае эта величина составляет 13–18 е.Д., в июне 16–19 и в июле 11–16 е.Д., при этом в июне–июле при максимуме солнцестояния область наибольшего истощения ОСО локализуется в районе деградации лесных массивов. Анализ аналогичных данных для периодов 1979–1991 и 1992–2002 гг. показал, что с 1992 г. в течение первого десятилетия, за исключением 1998 г., когда существенному росту ОСО способствовал сильный Эль-Ниньо, в мае–июне дефицит стратосферного озона в исследуемом регионе составлял 20–27 е.Д. и 14–19 е.Д. в июле.

Поскольку глобальный мониторинг поля ОСО осуществляется с 1979 г., не представляется возможным оценить динамику состояния озоносферы над Южно-Сибирским регионом в более ранний период, опираясь на данные спутниковых измерений. Однако выраженная деградация лесных массивов регистрируется не только в России, но и в регионах Северной и Центральной Европы. На станции Ароза (Швейцария, 46,78° с.ш., 9,68° в.д.) наземные измерения ОСО осуществляются с 1926 г., а с 1932 г. они проводятся в регулярном режиме [22]. Анализ динамики временных рядов ОСО для станции Аро-

за за период май–август и среднемесячных значений с мая по август показал фактически нулевой тренд, характеризующий динамику ОСО с 1932 по 1991 г. и последующее истощение стратосферного озона в среднем на 15,5 е.Д. с 1992 по 2013 г.

Чтобы оценить степень повышения уровня приземной УФ-В-радиации с мая по август 1992–2012 гг. для каждого орографического объекта (рис. 1), в программе Surfer в виде карт изолиний были визуализированы относительные отклонения среднемесячных значений ОСО от многолетнего среднего соответствующего месяца за период 1979–1991 гг. (в процентах). Всего для полного периода наблюдений 1979–2012 гг. было составлено 136 карт. Глубина отрицательных озоновых аномалий оценивалась визуально для каждой орографической единицы. Результаты исследования представлены на рис. 4 в виде гистограмм, отображающих относительные отклонения среднемесячных значений ОСО от соответствующего многолетнего среднего 1979–1991 гг. для каждого месяца с мая по август 1979–2012 гг. При этом учтены только те месяцы, для которых величина относительного отклонения составляет не менее 4%, что соответствует относительному отклонению осредненного за период вегетации значения ОСО 1992–2012 гг. от многолетнего среднего 1979–1991 гг. над территорией, ограниченной координатами 45°–60° с.ш. и 80°–115° в.д.

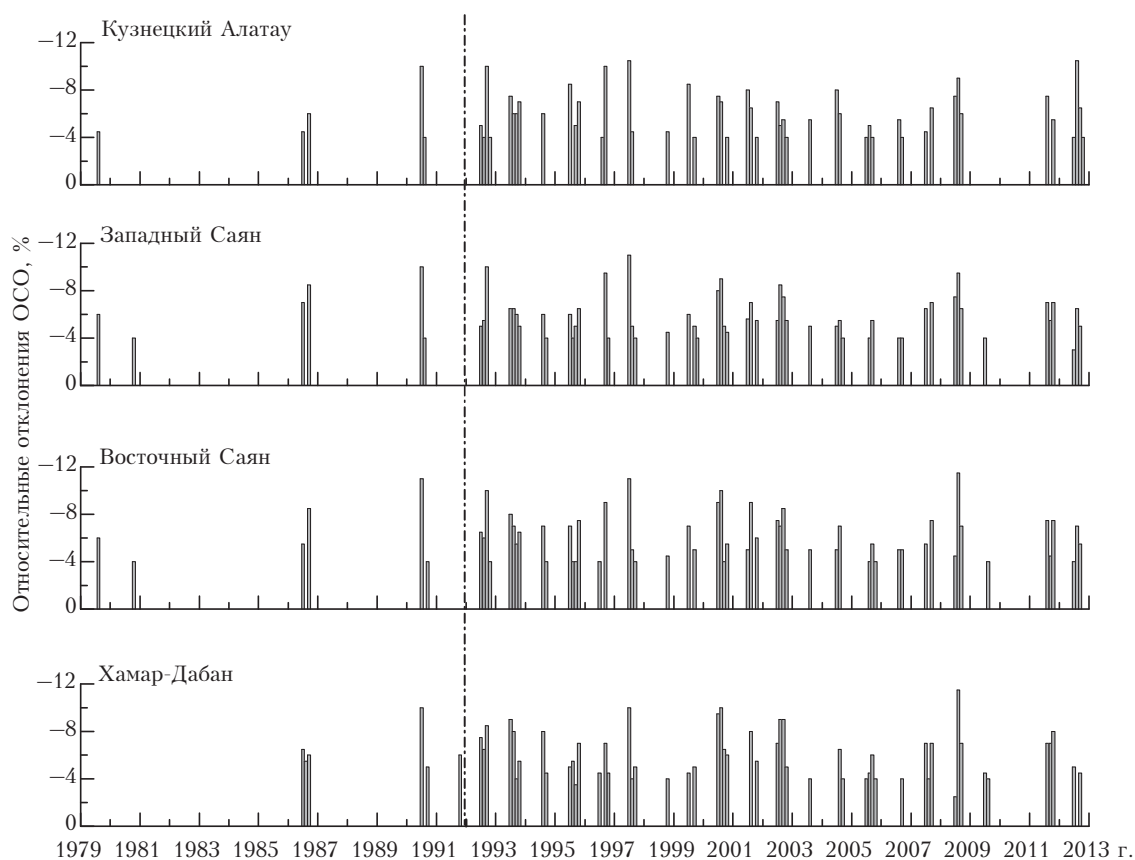


Рис. 4. Гистограммы распределения относительных отклонений среднемесячных значений ОСО от многолетнего среднего 1979–1991 гг.; количество столбиков на единичном интервале соответствует числу месяцев вегетационного периода (май–август) каждого года, в течение которых регистрировались отрицательные отклонения ОСО  $\geq 4\%$

Очевидно, что за период 1979–1991 гг. пониженное содержание озона в столбе для всех четырех орографических объектов региона регистрировалось только в 1986 и 1990 гг. С 1992 по 2009 г. (за исключением 1998 г.) южный регион Сибири находился под непрерывным воздействием повышенных доз коротковолновой УФ-В-радиации. Истощение стратосферного озона по среднемесячным данным в этот период составляло от 4 до 12% относительно многолетнего среднего 1979–1991 гг., что соответствует повышению уровня УФ-В-радиации волнового диапазона 295–310 нм в максимуме от 35% для  $\lambda \sim 310$  нм до 110% для  $\lambda \sim 295$  нм [9]. Стоит особо отметить, что коротковолновая УФ-В-радиация ( $\lambda < 310$  нм) играет важнейшую роль в фотохимических циклах генерации тропосферного озона, являющегося для растений одним из наиболее активных и опасных экотоксикантов [6].

Скачкообразное изменение состояния озоносферы в 1991–1992 гг. было спровоцировано извержением вулкана Пинатубо (Индонезия, 1991 г.), самого мощного после 1912 г., характеризующимся индексом вулканической взрывчатости VEI = 6. Поскольку в стратосфере средних и полярных широт озон является пассивным трассером, основное влияние на формирование поля ОСО оказывают циркуляционные процессы в атмосфере, а также аэрозольное наполнение стратосферы. Значимыми явлениями, определяющими глобальные изменения

состояния озоносферы, являются вулканогенные возмущения стратосферы и сильные явления Эль-Ниньо. Известно, что вулканогенные возмущения среднеширотной стратосферы приводят к отрицательным аномалиям ОСО, а явления Эль-Ниньо – к положительным [19].

Причиной длительной (более 20 лет) депрессии стратосферного озона в постпинатубный период стало в первую очередь аэрозольное возмущение стратосферы, спровоцированное фактически непрерывной серией плинианских извержений тропических вулканов с индексом взрывчатости VEI = 4 [23]. Список вулканических извержений за период 1979–2012 гг. представлен в таблице [24], также в ней отражены сильные явления Эль-Ниньо 1982–1983 и 1997–1998 гг. Ослабление стратосферного аэрозольного возмущения после извержений вулканов 1982–1983 гг., в частности вулкана Эль Чичон, связанное с компенсирующим действием Эль-Ниньо [25], проявилось в отсутствии отрицательных озоновых аномалий над южными регионами Сибири (рис. 4). Также явлением Эль-Ниньо обусловлены рост ОСО и отсутствие отрицательных озоновых аномалий в 1998 г.

Таким образом, резко изменившийся после 1991 г. радиационный фон и длительное, в течение последующих 20 лет, воздействие повышенных доз УФ-В-радиации могли привести к снижению резистентности хвойных и, как следствие, к развитию болезней и массовой гибели растений.

Список плинианских извержений тропических вулканов

N	Год (месяц) извержения	Вулкан	Координаты	VEI	Высота выброса, км	Год сильных Эль-Ниньо
1	1979 (04)	Суфриер Хилс	13,33° с.ш./61,18° з.д.	4	18	1982–1983
2	1982 (03)	Эль Чичон	17,36° с.ш./93,23° з.д.	5	30	
3	1982 (04)	Эль Чичон	17,36° с.ш./93,23° з.д.	4+	24	
4	1985 (11)	Невадо дель Руис	4,89° с.ш./75,32° з.д.	3	31	
5	1990 (02)	Келут	7,93° ю.ш./112,31° в.д.	4	20	
<b>6</b>	<b>1991 (06)</b>	<b>Пинатубо</b>	<b>15,13° с.ш./120,35° в.д.</b>	<b>6</b>	<b>40</b>	
7	1994 (09)	Рабаул	4,27° ю.ш./152,20° в.д.	4	18	
1997–1998						
8	1999 (10)	Гуагуа Пичинча	0,17° ю.ш./78,60° з.д.	3	20	1997–1998
9	2000 (09)	Улаун	5,05° ю.ш./151,33° в.д.	4	17,3	
10	2002 (09)	Руанг	2,30° с.ш./125,37° в.д.	4	18	
11	2002 (11)	Ревентадор	0,077° ю.ш./77,656° з.д.	4	20,5	
12	2004(11)	Манам	4,08° ю.ш./145,04° в.д.	4	18	
13	2005 (01)	Манам	4,08° ю.ш./145,04° в.д.	4	20	
14	2006 (02)	Манам	4,08° ю.ш./145,04° в.д.	4	19	
15	2006 (05)	Суфриер Хилс	13,33° с.ш./61,18° з.д.	4	17	
16	2006 (10)	Рабаул	4,27° ю.ш./152,20° в.д.	4	18	
17	2010 (11)	Мерапи	7,54° ю.ш./110,44° в.д.	4	18,3	
18	2011 (06)	Набро	13,37° с.ш./41,70° в.д.	4	13,7	

## Заключение

С начала 90-х гг. прошлого столетия в регионах Южной Сибири регистрируется выраженное синхронное увеличение масштабов деградации хвойных лесов. Непосредственная гибель хвойных насаждений происходит преимущественно под влиянием биотических причин, к которым относятся поражение патогенными организмами, лесные болезни и атаки энтомофагов. Однако в большинстве случаев патологические агенты поражают уже ослабленные древостои. Большая площадь очагового поражения свидетельствует о влиянии на данной территории общего экзогенного фактора, снижающего резистентность растений. В настоящее время для обитания хвойных видов в регионе складываются благоприятные климатические условия, а степень антропогенной нагрузки на растительность отдельных орографических объектов различна. Следовательно, общим фактором, активизировавшим процессы деградации бореальных лесов Южной Сибири, могло стать долговременное повышение приземного уровня коротковолновой ультрафиолетовой радиации на длинах волн 295–310 нм в результате длительной депрессии стратосферного озона.

Анализ динамики состояния озоносферы показал, что выраженная депрессия стратосферного озона в течение весенне-летней фазы вегетационного периода (май–август) отмечается с 1992 г. Скачкообразный спад ОСО 1991–1992 г. в среднем на 13 е.Д. был спровоцирован извержением тропического вулкана Пинатубо (Индонезия, 1991), характеризующегося VEI = 6. В постпинатубный период 1992–2012 гг. длительная депрессия озоносферы обусловлена постоянным присутствием в стратосфере вулканогенного аэрозоля вследствие высокой частоты плиннианских извержений (VEI = 4) вулканов тропического пояса. В результате многолетней депрессии озоносферы исследуемый регион уже более 20 лет в период с мая по август подвергается воздействию повышенных доз приземной коротковолновой ультрафиолетовой радиации. В особо острые периоды на территориях очагов массового усыхания хвойных древостоев Южно-Сибирского региона среднемесячный приземный уровень УФ-В-радиации наиболее деструктивных длин волн 305 и 300 нм увеличивается в 1,5 и 1,7 раза соответственно и более чем в 2 раза для достаточно жесткого излучения на длине волны 295 нм.

Необходимость активизации биохимических процессов, направленных на компенсацию повреждающего действия коротковолновой УФ-В-радиации, прежде всего на фотосинтетический аппарат, ослабляет устойчивость хвойных деревьев по отношению к патологическим агентам. Как правило, при этом старые деревья наиболее подвержены атакам по сравнению со средневозрастным древостоем.

1. Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России // Лесоботанические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы. Материалы

науч. конф., посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 3–5 октября 2007. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2007. С. 42–52.

2. Apps M.J., Kurz W.A., Luxmoore R.J., Nilsson L.O., Sedjo R.A., Schmidt R., Simpson L.G., Vinson T.S. Boreal forest and tundra // Water, Air, and Soil Pollut. 1993. V. 70. P. 39–53.

3. Павлов И.Н. Хвойные бореальной зоны [Электронный ресурс]. URL: [http://forest-culture.narod.ru/HBZ/O\\_jrg.html](http://forest-culture.narod.ru/HBZ/O_jrg.html) (дата обращения: ноябрь 2015).

4. Манько Ю.И. Взгляды А.И. Куренцова на проблему усыхания Аянской ели // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. Владивосток, 2009. Вып. 20. С. 24–28.

5. Stapleton A.E. Ultraviolet radiation and plants: burning questions // The Plant Cell. 1992. V. 4. P. 1353–1358.

6. Биоиндикация стратосферного озона / Под общ. ред. В.В. Зуева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 228 с.

7. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Зотикова А.П., Бендер О.Г., Правдин В.Л. Комплексные исследования отклика фотосинтетического аппарата ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на воздействие УФ-В-радиации // Ж. Сибирского фед. ун-та. Биология. 2010. Т. 3, № 4. С. 391–406.

8. Зуева Н.Е. Связь изменений биологически-активной УФ-В солнечной радиации с колебаниями общего содержания озона // Ж. Сибирского фед. ун-та. Биология. 2008. Вып. 1. С. 345–357.

9. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Короткова Е.М. Сравнительный анализ рядов наблюдения общего содержания озона и УФ-В-радиации в зонах произрастания бореальных лесов // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 10. С. 914–920; Зуев В.В., Зуева Н.Е., Короткова Е.М. The comparative analysis of observational series of total ozone content and UV-B radiation in boreal forest zones // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, N 1. P. 67–72.

10. Черняков В.В. Усыхания лесов: взаимоотношения организмов в патологических процессах // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 28. С. 155–160.

11. Parfenova E.I., Tchebakova N.M. Conifer trees of South Siberia mountains in a changing climate of XXI century // Beyond 4 degrees. Int. Climate Conference. 20–30 Sept, 2009. Oxford. 2009. P. 91–94.

12. Бажина Е.В. О факторах усыхания хвойных лесов в горах Южной Сибири // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. 2010. № 3. С. 20–25.

13. Калихман Т.П. Экосистемы юга озера Байкал в процессе адаптации к антропогенным воздействиям // Геогр. и природ. ресурсы. 2011. № 4. С. 55–61.

14. Воинов А.А., Молчанов В.И., Намсараева М.М. О проблеме усыхания сосны сибирской в Восточном Прибайкалье // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Ижевск, 15–18 февраля 2011. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. 2011. Т. 1. С. 195–198.

15. Морозова Т.И. Организмы, вызывающие болезни хвойных пород в байкальской Сибири // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всероссийской науч. конф. Иркутск, 10–13 июня 2013. М.; Берлин: Директ-Медиа. 2015. С. 340–342.

16. Бажина Е.В., Сторожев В.П., Третьякова И.Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2013. № 2. С. 15–21.

17. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Гришаев М.В. Сезонные вариации флуоресценции сосны обыкновенной по данным измерений на Сибирской лидарной станции // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 1. С. 42–48.
18. Van der A R.J., Allaart M.A.F., Eskes H.J. Multi sensor reanalysis of total ozone // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10, N 22. P. 11277–11294.
19. Зуев В.В. Дистанционный оптический контроль стратосферных изменений. Томск: МПП «Раско», 2000. 140 с.
20. Еланский Н.Ф., Кожевников В.Н., Кузнецов В.Н., Волков Б.И. Влияние орографических возмущений на перераспределение озона в атмосфере при обтекании Антарктического полуострова // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2003. Т. 39, № 1. С. 105–120.
21. Авдюшин С.И., Данилов А.Д., Звягинцев А.М., Железнякова А.И., Староватов А.А., Юсупова И.И. Уменьшения общего содержания озона над горами Средней Азии // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1995. Т. 31, № 1. С. 34–40.
22. Meteorological Service of Canada. World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre [Электронный ресурс]. URL: <http://www.woudc.org> (дата обращения: июль 2016).
23. Зуев В.В., Бондаренко С.Л., Зуева Н.Е. Анализ вулканогенных возмущений субарктической озоносферы на основе данных космического мониторинга // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 6. С. 22–29.
24. Global Volcanism Program [Электронный ресурс]. URL: <http://volcano.si.edu/> (дата обращения: июль 2016).
25. Mich P., Lastovicka J. Solar cycle effect on oscillations in the period range of 2–20 days in the F-region of the ionosphere // Ann. Geofis. 1996. V. 39, N 4. P. 783–790.

**V.V. Zuev, N.E. Zueva, E.M. Korotkova, A.V. Pavlinsky. The impact of ozone depletion to degradation processes of coniferous forests in the southern regions of Siberia.**

The article analyzes the main factors leading to the rise in intensity of coniferous forests focal drying out on the territory of Southern Siberia, recorded during 1990-s. It has been shown that a significant factor weakening the resistance of coniferous trees, could be a long-term ozone depletion due to the constant presence of stratospheric volcanic aerosols caused by frequent Plinian eruptions of tropical belt volcanoes with VEI  $\geq 4$ , which is why South Siberian region has been under continuous exposure to high doses of short-wave UV-B radiation since 1992 to 2012.