

Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата

Е. И. ПОНОМАРЕВ, В. И. ХАРУК

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: evg@ksc.krasn.ru*

Статья поступила 15.04.2015

Принята к печати 20.06.2015

АННОТАЦИЯ

Проанализирована динамика метеорологических показателей для Сибири и Алтае-Саянского региона в XX–XXI вв. Выявлены значимые тренды температуры, осадков и индекса сухости SPEI. Установлен тренд роста горимости территории Сибири и Алтае-Саянского региона, наблюдающийся с конца XX в. Межсезонная вариация числа лесных пожаров имеет фазовое совпадение с динамикой отклонения средних температур, положительно коррелирует с возрастанием засушливости и отрицательно с усредненными значениями количества осадков. Наблюдается резкое возрастание частоты пожаров в конце XX – начале XXI в. Выявлено пространственное перераспределение количества пожаров в Алтае-Саянском регионе в начале XXI в.

Ключевые слова: лесной пожар, метеопараметры, индекс сухости, Алтае-Саянский регион.

По данным долгосрочных рядов метеонаблюдений констатируется возрастание температуры воздуха в приземном слое [Rehfeldt et al., 2012; IPCC, 2013]. Межправительственная группа экспертов по изменениям климата (МГЭИК) констатирует инструментально зафиксированное повышение глобальной температуры на 0,72 °C к концу XX в. и на 0,85 °C – в первом десятилетии XXI в. [IPCC, 2013]. Начиная с 70–80-х гг. XX в. в циркумбореальной зоне в целом и на территории Сибири отмечены рост температуры, изменение режима выпадения осадков, увеличение длительности засушливых периодов [Школьник и др., 2012]. Такие изменения способны сыграть роль природного триггера в целом ряде процессов. Потепление неизбежно

приведет к изменению структуры растительного покрова, перестройке иерархических уровней лесной растительности, переходу экосистем в “неустойчивую фазу” с вероятным нелинейным откликом даже на малые изменения [Lenton et al., 2008; Rehfeldt et al., 2012]. Прогнозируется и дальнейшее возрастание частоты и интенсивности засушливых периодов, в том числе для лесных территорий азиатской части России. Этот фактор будет существенно влиять на динамику горимости лесов, что уже проявляется на региональном и особенно на субрегиональном уровнях [Ваганов и др., 1998; Буряк и др., 2011; Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2014], где пожары выступают в качестве основного деструктирующего фактора, определяю-

щего периодичность и направления вторичных сукцессий экосистем.

Многokrратно отмечалось, что первая декада XXI в. характеризуется увеличением частоты возникновения пожаров и итоговых площадей, подвергающихся пирогенному воздействию, как в масштабах всего северного полушария [Flannigan et al., 2009], так и на территории Сибири в частности [Lourian et al., 2006]. Российские и зарубежные эксперты приводят оценки ежегодной площади лесных пожаров в России на уровне 2–17 млн га [Conard et al., 2002; Швиденко и др., 2011]. В таких оценках отражена и высокая вариабельность данных о пожарах, и возрастающий тренд горимости лесов в современных климатических условиях [Швиденко, Щепаченко, 2013; Пономарев, Швецов, 2013].

Воздействие изменений климата является одним из основных факторов, определяющих не только состояние и продуктивность лесов, но и частоту пожаров и площади, подвергающиеся пирогенному воздействию [Kharuk et al., 2008a, b, 2010; Изменение..., 2011]. В этой связи представляет интерес анализ горимости лесов в горной стране Алтае-Саянского региона, где выраженные градиенты температуры воздуха и осадков определяют биоразнообразие, смену растительных зон и ландшафтов [Изменение..., 2011].

Основная цель работы – оценить уровень связи между статистическими данными о горимости горных лесов Алтае-Саянского региона и долговременной динамикой метеорологических показателей в сравнении с ситуацией в Сибири.

Результаты, представленные в данной работе, получены на основе анализа изменений климатических показателей Алтае-Саянского региона в XX–XXI вв. (температура, осадки, индекс сухости) и выявления прогнозных трендов; обобщения и анализа долговременных трендов горимости лесов региона и на прогнозе развития ситуации в начале XXI в.; оценки уровня корреляционной связи между изменениями метеопараметров и возрастанием частоты лесных пожаров и площадей, подвергающихся пирогенному воздействию, в конце XX – начале XXI в.

Объекты исследования, для которых анализировалась пространственно-временная динамика горимости, включают горные леса Алтая, Восточного и Западного Саяна и Кузнецкого Алатау. Под пространственной динамикой горимости понимается распределение числа и площадей природных пожаров, уровень их пространственной концентрации по территории. Под временной динамикой горимости подразумевается распределение числа природных пожаров в течение пожароопасных сезонов.

Район исследования – Алтае-Саянский регион (82–105° с. ш., 49–56° в. д.), на территории которого преобладающими являются горные ландшафты с экосистемами тундр (до 10 % от общей площади), степей и пустынь (около 5 %) и лесов, представленных темнохвойной горной тайгой (более 29 %), подтайгой (20 %), светлохвойной горной тайгой (до 15 %), субальпийскими и подгольцовыми редколесьями (до 13 %), черневой тайгой (около 7 %) [Изменение..., 2011]. На наиболее влажных наветренных склонах (северо-восточная часть Алтая, Кузнецкого Алатау, северо-восточная часть Западного Саяна, юго-западная часть Восточного Саяна) преобладают таежно-черневые пихтовые и кедрово-пихтовые леса в высотном спектре от 350–500 до 1300–1600 м. Горные таежно-лесостепные районы с господством лиственничных и кедровых (на высотах 1200–2000 м) лесов располагается в низкогорьях Северного Алтая и в северной части Центрального Алтая, на части Западного и Восточного Саяна, на северо-востоке Тувы. Горные таежно-лесостепные районы с господством лиственничных и кедровых (высоты 1200–2000 м) лесов доминируют в низкогорьях восточного макросклона Кузнецкого Алатау, в основной части межгорных котловин Хакасии, среднегорьях Центрального Алтая и Восточного Саяна. На подветренных склонах и горных территориях с наименьшими проявлениями циклонической деятельности (плато в Саянах, юго-восточный Алтай, часть хр. Танну-Ола, степи центральной Тувы) преобладают горные таежно-степные районы лиственничных лесов и степей (высоты 1400–2300 м) [Самойлова и др., 2003; Стратегия..., 2013].

Пространственная и временная неоднородность климатических и погодных условий, обусловленные значительной протяженностью района в широтном и меридиональном направлениях, а также особенности орографии определяют появление и вариации пожароопасных периодов, а также суточную динамику возникновения и распространения природных пожаров на территории исследований [Стратегия..., 2013]. Наряду с общими закономерностями процессов возникновения и распространения природных пожаров существуют локальные особенности, обусловленные различиями в мезо- и микроклимате, погодными условиями, видовой и возрастной структурой лесов, орографией, степенью освоенности территории, и предопределяющие пространственную структуру горимости лесов.

В работе использована информация о пожарах растительности на территории Алтае-Саянского региона за период с 1960 по 2014 г. по материалам наземного, авиационного и спутникового наблюдений. Многолетние метеорологические данные обобщены для XX в. и для первой декады XXI в. На основе этих данных проведена оценка уровня корреляционной связи между изменением количественных показателей горимости и динамикой температуры, осадков и индекса сухости SPEI [Vicente-Serrano et al., 2010].

Метеорологические параметры обобщены на основе данных Climatic Research Unit (University of East Anglia, UK) [Harris et al., 2014]. Выборка была выполнена для периода 1901–2013 гг. отдельно для Алтае-Саянского региона (АСР) и Сибири (азиатская часть РФ, исключая Приморье). В анализе использованы временные ряды значений температуры, осадков и индекса SPEI. Исходный набор данных подвергался процедуре усреднения по месяцам, соответствующим фактическому пожароопасному периоду: апрель – сентябрь. Рассматривались выборки для двух временных интервалов. Ряд значений на интервале 1901–1990 гг. использовался для определения средних многолетних значений параметров и оценки их вариабельности. Ряд периода 1991–2013 гг. использовался для анализа отклонений метеорологических параметров в течение последних 20–25 лет. Для данного периода доступна наиболее полная информация о

пожарах, включая результаты спутникового мониторинга с 1996 по 2014 г. [Пономарев, Швецов, 2015]. Кроме того, в целях построения ретроспективной модели горимости лесов привлечены материалы банка данных Авиалесоохраны за 1969–2008 гг.

Обобщенная информация о горимости региона за период 1969–2013 гг. получена на основе метода весовой интерполяции (коэффициенты λ) с использованием взвешенной суммы данных при переходе между различными наборами (n_1 и n_2) исходной информации: $N = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 n_2$.

Геоинформационный анализ и геопространственная интерполяция выполнялись на ГИС-платформе с использованием векторных слоев: полигональный слой пожаров (масштаб 1 : 1 000 000), цифровая модель рельефа (масштаб 1 : 500 000), ландшафтная карта Алтае-Саянского региона (масштаб 1 : 2 000 000) [Ландшафтная карта..., 1988; Самойлова и др., 2003], результаты дешифрирования классов растительности по материалам спутниковой съемки [Bartalev et al., 2003].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Сибири в целом и для Алтае-Саянского региона установлен рост средних температур воздуха за вегетационный период (рис. 1, а, б). Линейный тренд индекса SPEI (см. рис. 1, в, г) характеризуется отрицательным коэффициентом, что говорит о возрастании засушливости. Полученные коэффициенты линейной аппроксимации (см. таблицу) характеризуют долговременную тенденцию изменения метеопараметров, а также позволяют оценить скорость изменений с конца XX и в первых декадах XXI в. В частности, в Алтае-Саянском регионе в период 1990–2013 гг. скорость роста температуры увеличилась в 3 раза (с 0,084 до 0,23 °C/10 лет), а универсального показателя засушливости – фактически на два порядка величины (с –0,001 до –0,09 ед./10 лет).

Тенденция повышения приземных температур и увеличение скорости прироста отклонения температуры отмечена как для Сибири, так и для Алтае-Саянского региона, где при этом начальные значения температурного ряда (~9 °C) выше, чем для Сибири в целом (~5 °C). Варьирование средних тем-

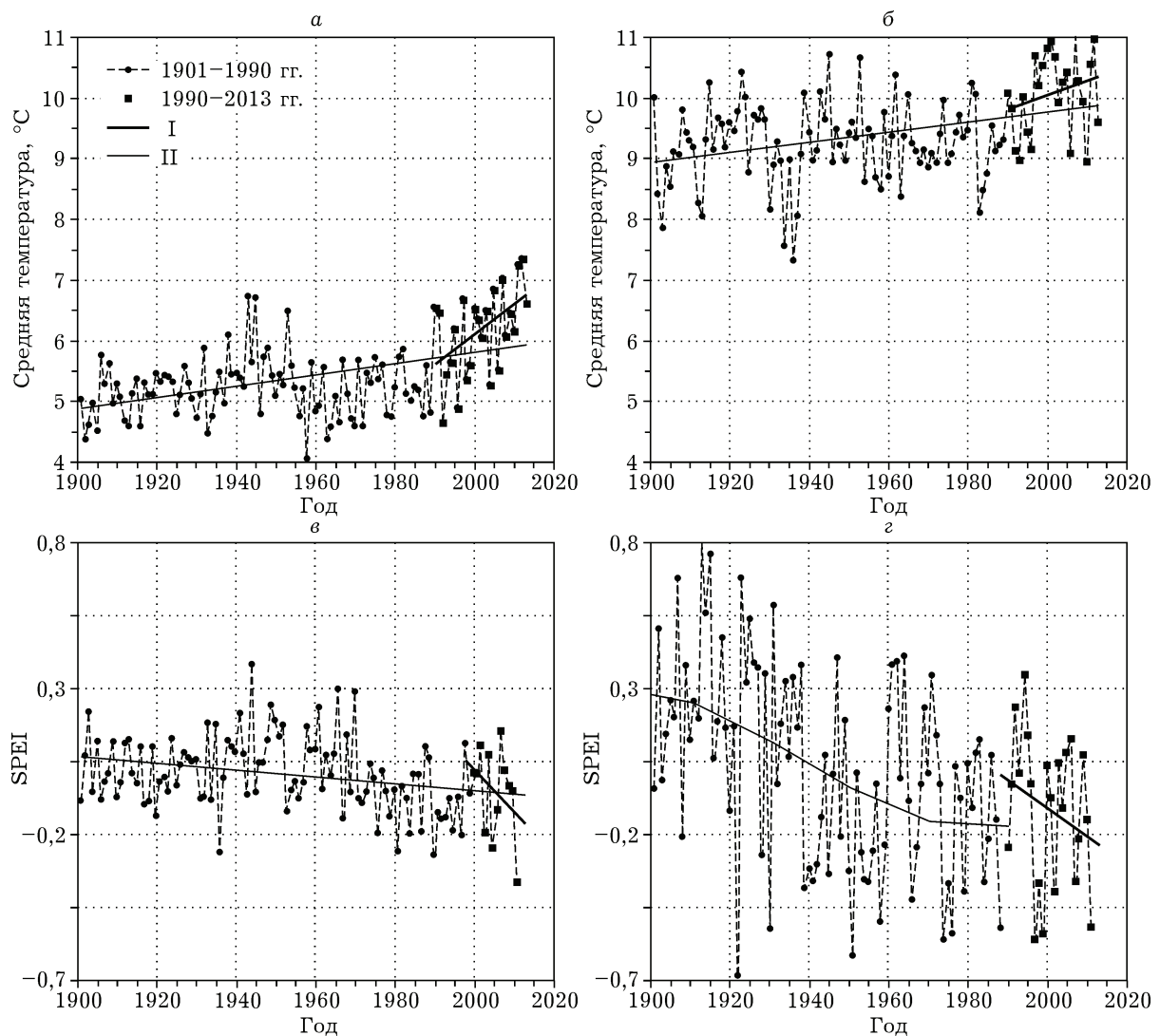


Рис. 1. Тренды усредненных метеорологических показателей в течение пожароопасного периода в 1901–2013 гг. для территории Сибири (а, в) и для Алтае-Саянского региона (б, г). I – линейная аппроксимация для 1990–2013 гг., II – для всего ряда данных

ператур в пределах 3–4 °С наблюдается и для Сибири, и для территории Алтае-Саян. Значения выборки попадают в интервал 2σ (величина стандартного отклонения 0,35 и 0,67 для данных по Сибири и Алтае-Саянскому региону соответственно).

Временные ряды значений температуры аппроксимированы линейными функциями (см. рис. 1, а, б), коэффициенты приведены в таблице. Аналогично получен результат для временных рядов индекса SPEI (см. рис. 1, в, г), который аппроксимировался линейным трен-

Скорость изменения метеорологических показателей в линейном приближении

Скорость изменения показателя*	Сибирь		Алтае-Саянский регион	
	1901–1990 гг.	1990–2013 гг.	1901–1990 гг.	1990–2013 гг.
Температура, °С/10 лет	0,094	0,49	0,084	0,23
SPEI, ед./10 лет	-0,012	-0,46	-0,001	-0,09

*Для уровня надежности 95 %, $p = 0,05$.

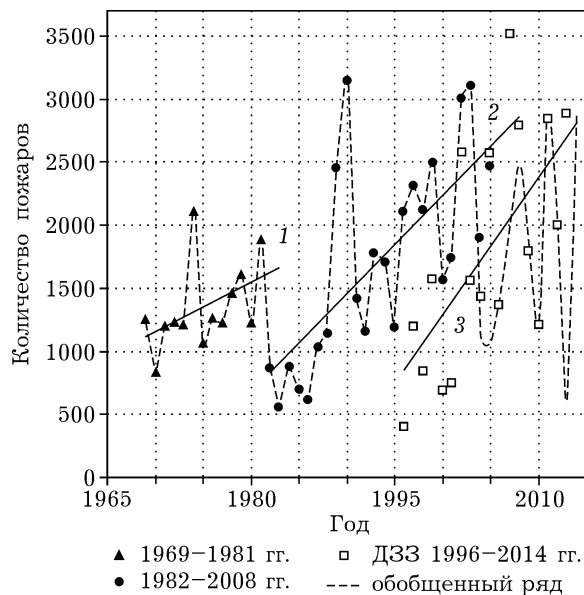


Рис. 2. Обобщенный временной ряд данных о пожарах в Алтае-Саянском регионе. 1969–2008 гг. – информация АСУ Центральной базы авиационной охраны лесов; 1996–2014 гг. – спутниковый мониторинг ИЛ СО РАН. 1, 2, 3 – линейная аппроксимация

дом с отрицательным коэффициентом. Для данного показателя проявились существенные отличия в диапазоне вариации значений для Сибири и Алтае-Саянского региона, а стандартные отклонения отличаются в 2 раза (0,13 и 0,26 соответственно).

Значимых трендов количества осадков в течение пожароопасного периода для территории Сибири не выявлено. В данных долговременных наблюдений прослеживается периодическая составляющая с величиной полупериода $T \sim 30$ лет. Для территории Алтае-Саянского региона усредненные показатели количества осадков имеют тенденцию к снижению с середины XX в., а в 2000-х гг. среднегодовое количество осадков – фактически константа. В то же время фиксируется снижение индекса SPEI (т. е. возрастание засухливости), что обусловлено увеличением температуры воздуха, а также, вероятно, перераспределением осадков в течение сезона.

На основе результатов анализа обобщенного временного ряда данных о пожарах (рис. 2) выявлено, что их частота в Алтае-Саянском регионе увеличилась на рубеже 80–90-х гг. XX в. (рис. 3). Характеристика частоты пожаров имеет качественный скачок с уровня

3,8–4,1 ед./ 10^5 га, соответствующего в пирологической классификации уровню повышенных значений, до уровня высоких значений в 1990-е и 2000-е гг. (10,7–12,3 ед./ 10^5 га соответственно). В конце XX в. вдвое увеличилось и значение медианы, что констатирует рост числа пожаров во всех лесничествах региона.

Для лесов Алтае-Саянского региона показательны отличия трендов горимости за различные периоды наблюдений (см. рис. 2). Минимум количества пожаров (~700 случаев в год) приходится на период 1982–1986 гг. В последующем ежегодное количество пожаров возрастало, варьируя в диапазоне 550–3000 случаев. Коэффициент аппроксимирующей функции линейной регрессии (см. рис. 2) увеличился в 2 раза (с 39,6 для 1969–1981 гг. (линия 1) до 78,2 в период с 1985 г. (линия 2)). Различия аппроксимирующих функций для данных с 1985 г. и последующего периода спутниковых наблюдений 1996–2014 гг. статистически не значимы (см. рис. 2, линия 2 и 3).

Полученные результаты в целом для Сибири и для Алтае-Саянского региона в частности согласуются с аналогичными исследованиями других авторов [Изменение климата..., 2011; Onuchin et al., 2014]. Таким образом, следует ожидать повышения горимости

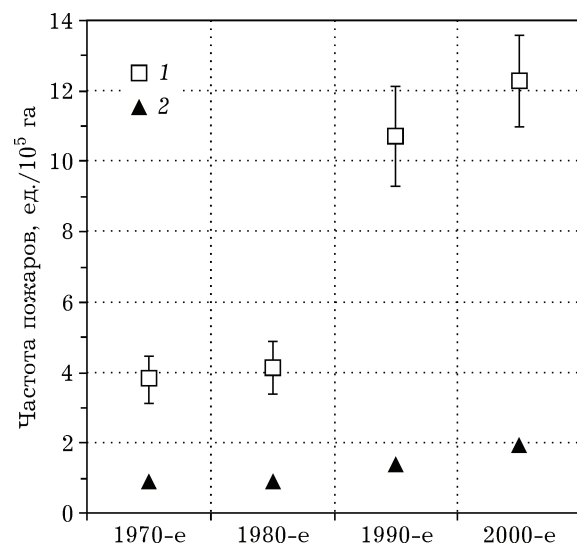


Рис. 3. Усредненные по десятилетиям значения частоты пожаров. Данные по лесничествам приведены к площади 10^5 га. 1 – средние значения и доверительные интервалы на уровне значимости 0,05; 2 – медианные значения

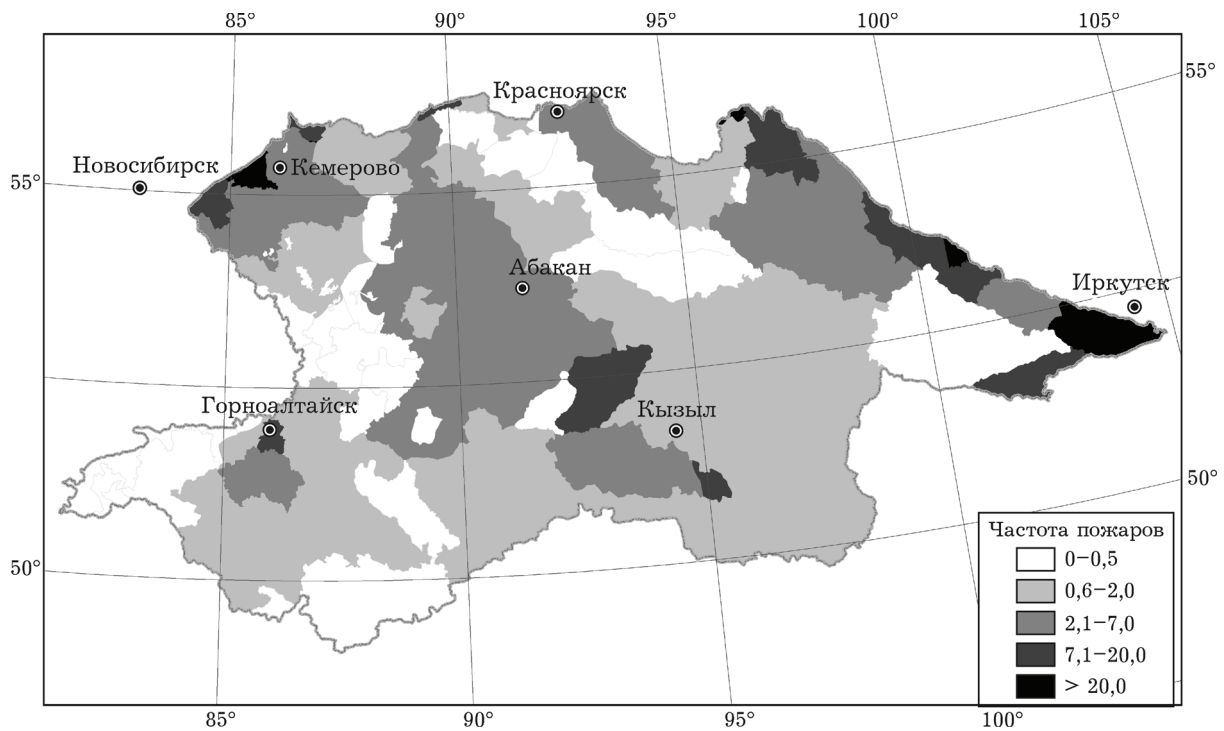


Рис. 4. Пространственное распределение частоты возникновения лесных пожаров по лесничествам в первом десятилетии XXI в. (приведено к площади 10^5 га)

лесов в регионе в ближайшей перспективе, что будет определяться перераспределением осадков, ростом средних значений температуры в течение вегетационного периода, возрастанием засушливости и частоты засух.

Геоинформационный анализ показал, что в современных условиях стабильно высокий

уровень горимости наблюдается в средне- и низкогорных темнохвойных и лиственнично-сосновых лесах. При этом с конца XX в. наблюдается повышение частоты пожаров в лиственничниках и смешанных лесах среднегорий и высокогорий центральной и юго-западной частей региона (рис. 4).

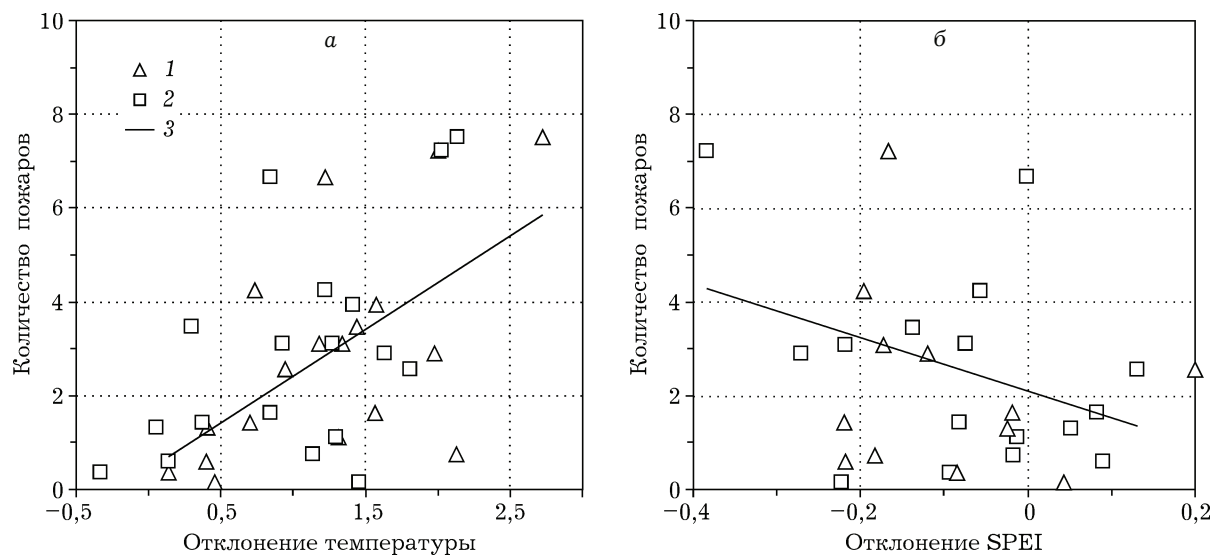


Рис. 5. Корреляционное поле для данных о количестве пожаров 1996–2014 гг. и аномалий: а – температуры ($r = 0,5$); б – показателя SPEI ($r = -0,43$). 1 – усреднение на интервале июнь – июль; 2 – усреднение на интервале апрель – сентябрь; 3 – линейная аппроксимация

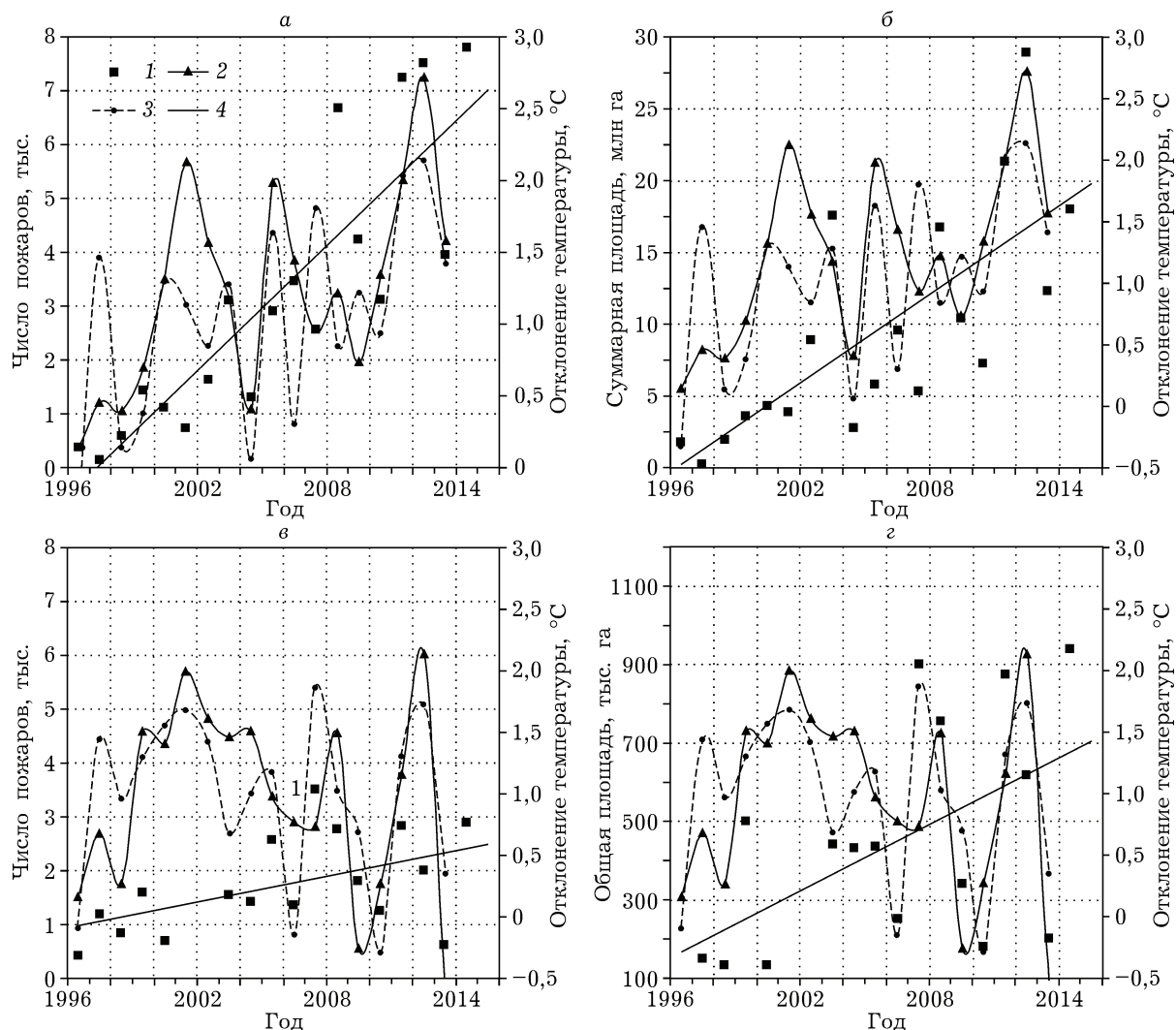


Рис. 6. Статистика пожаров (1) за период спутниковых наблюдений и аномалии усредненных значений температуры для территории Сибири (а, б) и Алтае-Саянского региона (в, г); усреднение температуры по месяцам май – июль (2); усреднение по месяцам апрель – сентябрь (3); аппроксимации статистических данных о пожарах, коэффициент детерминации $R^2 \sim 0,5-0,71$ (4)

Значимые уровни корреляционной связи установлены для аномалий температуры и индекса SPEI. Уровень связи в период 1996–2014 гг. демонстрирует график корреляционного поля (рис. 5) для количественных показателей горимости и отклонений метеорологических параметров от среднестатистических значений, вычисленных за 1901–1990 гг. Наиболее значимой является зависимость между частотой пожаров, горимостью и величиной отклонений температуры, уровень связи (см. рис. 5) характеризуют коэффициенты корреляции $r = -0,43$ и $r = 0,5$ соответственно ($p = 0,01$). Для данных по осадкам статистически значимых зависимостей не зафиксировано.

Результаты регрессионного анализа позволяют прогнозировать рост количественных показателей горимости в регионе, что уже наблюдается с конца XX в. Это согласуется с прогностическими моделями, отработанными для различных регионов России и Сибири [Швиденко, Щепаченко, 2013; Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2014]. Межсезонная вариация (рис. 6) числа лесных пожаров имеет фазовое совпадение с динамикой колебания аномалий температуры ($r \sim 0,6$). При этом аномалии показателей осадков и индекса SPEI ожидаемо имеют менее значимую обратную корреляционную связь со статистикой горимости ($r = -0,4$ и $-0,55$ соответственно).

Горимость лесов Алтае-Саянского региона и Сибири в целом, безусловно, определяется не только влиянием рассмотренных показателей. С конца 1990-х гг. рост показателей горимости в значительной мере является следствием реформирования системы лесного хозяйства, в частности, реорганизации служб охраны и защиты леса. Обсуждение этого вопроса можно встретить в ряде публикаций последних лет [Исаев, Коровин, 2013; Швиденко, Щепаченко, 2013]. При этом снижение уровня противопожарной охраны, по нашему мнению, позволило проявиться более явно именно факторам климатического плана и именно в рассматриваемый период на рубеже XX–XXI вв. Таким образом, в условиях прогнозируемого изменения климата уровень воздействия пожаров на леса и экосистемы Алтае-Саянского региона может быть оценен и смоделирован на кратко- и среднесрочную перспективы с учетом аномалий метеопараметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для Алтае-Саянского региона Сибири проанализированы долговременные ряды метеорологических наблюдений (1901–2013 гг.) в комплексе и сопряженно с частотой возникновения пожаров в лесах. Установлены количественные характеристики повышения температуры и динамики индекса SPEI. Усредненные значения осадков имеют слабо выраженную тенденцию к снижению начиная с середины XX в.

Межсезонная вариация числа лесных пожаров имеет фазовое совпадение с аномалиями температур. Аномалии показателей осадков и индекса SPEI имеют обратную корреляционную связь со статистикой горимости.

Выявлен резкий скачок частоты пожаров, наблюдающийся с конца XX и охватывающий начало XXI в., что привело к двукратному повышению медианных значений. Установлен стабильно высокий уровень горимости в средне- и низкогорных темнохвойных и лиственнично-сосновых лесах, а также рост частоты пожаров в лиственничниках и смешанных лесах среднегорий и высокогорий на рубеже XX–XXI вв. В условиях прогнозируемого изменения климата уровень воздей-

ствия пожаров на леса Алтае-Саянского региона может быть оценен и спрогнозирован на кратко- и среднесрочную перспективы на основе анализа аномалий метеопараметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-24-00112).

ЛИТЕРАТУРА

- Буряк Л. В., Сухинин А. И., Каленская О. П., Пономарёв Е. И. Последствия пожаров в ленточных борах юга Сибири // Сиб. экол. журн. 2011. № 3. С. 331–339 [Buryak L. V., Sukhinin A. I., Kalenskaya O. P., Ponomarev E. I. Effects of fires in ribbon-like pine forests of southern Siberia // Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4. N 3. P. 248–253].
- Ваганов Е. А., Фуряев В. В., Сухинин А. И. Пожары сибирской тайги // Природа. 1998. № 7. С. 51–62.
- Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / под ред. А. О. Кокорина; Всемирный фонд дикой природы (WWF России). М., 2011. 168 с.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н. Лес как национальное достояние России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 5–12.
- Ландшафтная карта СССР. Масштаб 1 : 4 000 000 / под ред. А. Г. Исаченко. М: МГУГК, 1988.
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. С. 84–91.
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Характеристики категорий пожаров растительности в Сибири по данным спутниковых и других наблюдений // Там же. 2013. № 5. С. 45–54.
- Самойлова Г. С., Веселовский А. В., Маханова Т. М., Платэ А. Н. Ландшафтная карта Алтае-Саянского экорегиона. Масштаб 1 : 2 235 000. 2003.
- Стратегия по снижению пожарной опасности на ООПТ Алтае-Саянского экорегиона / А. С. Шишкин [и др.]; отв. ред. А. А. Онучин; СО РАН Институт леса им. В. Н. Сукачева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 265 с.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Ваганов Е. А., Сухинин А. И., Максютов Ш. Ш., МкКаллум И., Лакида И. П. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Докл. Акад. наук. 2011. Т. 441, № 4. С. 544–548.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Оценки тенденций усиления лесных пожаров в России до конца XXI в. по данным сценарных экспериментов климатических моделей пятого поколения // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 17–30.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Ефимов С. В., Стафеева Е. Н. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО // Метеорология и гидрология. 2012. № 2. С. 5–22.

- Bartalev S., Belward A., Ershov D. V. and Isaev A. S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Eurasia // *Int. Journ. Remote Sensing*. 2003. Vol. 24, N 9. P. 1977–1982.
- Conard S. G., Sukhinin A. I., Stocks B. J., Cahoon D. R., Davidenko E. P., Ivanova G. A. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia // *Climatic Change*. 2002. Vol. 55, N 1– 2. P. 197–211.
- Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // *Global Change Biol*. 2009. Vol. 15, N 3. P. 549–560 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x.
- Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // *Int. Journ. Climatology*. 2014. N 34. P. 623–642. doi:10.1002/joc.3711.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1535. p. doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Kharuk V. I., Ranson K. J., Dvinskaya M. L. Wildfires dynamic in the larch dominance zone // *Geophys. Res. Lett.* 2008a. N 35. P. 1–6.
- Kharuk V. I., Dvinskaya M. L., Im S. T., Ranson K. J. Tree vegetation of the forest-tundra ecotone in the Western Sayan Mountains and climatic trends // *Rus. Journ. Ecol.* 2008b. Vol. 39, N 1. P. 8–13.
- Kharuk V. I., Im S. T., Dvinskaya M. L. Forest-tundra ecotone response to climate change in the Western Sayan Mountains, Siberia // *Scandinavian Journ. Forest Res.* 2010. Vol. 25, N 3. P. 224–233. DOI: 10.1080/02827581003766959.
- Lenton T. M., Held H., Kriegler J. W., Lucht W., Rahmstorf S., Schellnhuber H. J. Tipping elements in the earth climate system // *PNAS*. 2008. Vol. 105, N 6. P. 1786–1793.
- Loupian E. A., Mazurov A. A., Flitman E. V., Ershov D. V., Korovin G. N., Novik V. P., Abushenko N. A., Altyntsev D. A., Koshelev V. V., Tashchilin S. A., Tatarnikov A. V., Csiszar I., Sukhinin A. I., Ponomarev E. I., Afonin S. V., Belov V. V., Matvienko G. G., Loboda T. Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2006. Vol. 11, N 1. P. 113–145.
- Onuchin A., Korets M., Shvidenko A., Burenina T., Musokhranova A. Modeling air temperature changes in Northern Asia // *Global and Planetary Changes*. 2014. Vol. 122. P. 14–22.
- Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Sáenz-Romero C., Campbell E. M. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems // *Ecol. Manage.* 2012. N 22 (1). P. 119–141. doi:10.1890/11-0495.1.
- Vicente-Serrano S. M., Santiago Beguería, Lypez-Moreno J. I. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI // *J. Climate*. 2010. N 23. P. 1696–1718.

Wildfire Occurrence in Forests of the Altai-Sayan Region under Current Climate Changes

E. I. PONOMAREV, V. I. KHARUK

*V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: evg@ksc.krasn.ru*

The data on meteorological parameters variation in the Altai-Sayan region in XX–XXI century were analyzed. Significant trends characterizing the dynamics of the average temperature, precipitation and dryness index SPEI were revealed. Growing wildfire frequency in the study area since the end of XX century was detected. Annual variation of wildfires had phase concurrency with the dynamics of mean temperature deviations and climate dryness and negatively correlated with averaged precipitation data. Rising of wildfire frequency was observed for the period of the XX – the first decade of the XXI century. The spatial re-distribution of wildfires in the Altai-Sayan region in the beginning of the XXI century was determined.

Key words: wildfire, weather station data, dryness index, Altai-Sayan Region.