

Воздействие сибирского шелкопряда на горимость лесных территорий

В. И. ХАРУК^{1,2}, О. А. АНТАМОШКИНА^{1,2}

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: kharuk@ksc.krasn.ru

Статья поступила 03.03.2017

Принята к печати 09.03.2017

АННОТАЦИЯ

Исследована динамика горимости в зонах повреждения кедрово-пихтовых древостоев сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) в междуречье рек Енисей и Ангара. Вспышка массового размножения шелкопряда, охватившая в 1993–1996 гг. свыше 1 млн га, сопровождалась гибелью лесов на площади 460 тыс. га. В погибших древостоях (шелкопрядниках) произошло резкое возрастание частоты и площади пожаров (семикратно по числу и двадцатикратно по площади). Пик горимости в данных лесах наблюдается в мае – июне, тогда как в неповрежденных древостоях – в июле.

Количество пожаров в шелкопрядниках коррелирует со среднемесячной (июньской) температурой воздуха ($r = 0,65$). Площадь пожаров связана отрицательной зависимостью с условиями влагообеспечения (с осадками – $r = -0,53$; индексом сухости SPEI – $r = -0,57$; влажностью напочвенного покрова – $r = -0,57$). В шелкопрядниках преобладают крупные пожары (площадь гарей >1000 га), тогда как в контроле охватывается меньшая площадь.

Для шелкопрядников типичны многократные пожары, площадь которых связана с их повторяемостью логарифмической зависимостью (17 % территории лесов пройдено пожарами двукратно, 5 % – трехкратно и 0,5 % – четырежды). Пожары, уничтожая возобновление хвойных, препятствуют лесовосстановлению: через 20 лет после вспышки размножения шелкопряда более 90 % площади гарей занято травяно-кустарничковыми и мелколиственными ценозами.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, шелкопрядники, лесные пожары, климатические воздействия, таежные леса.

Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) – один из наиболее опасных вредителей таежных лесов. Предпочитаемыми кормовыми объектами гусениц сибирского шелкопряда являются пихта (*Abies sibirica*), кедр (*Pinus sibirica*) и лиственница (*La-*

rix sibirica); на пике вспышки возможны также повреждения ели (*Picea obovata*) и сосны (*Pinus sylvestris*). Наиболее масштабная вспышка этого насекомого, охватившая свыше 2,5 млн га темнохвойной тайги Западной Сибири (Кеть-Чулымское междуречье), отме-

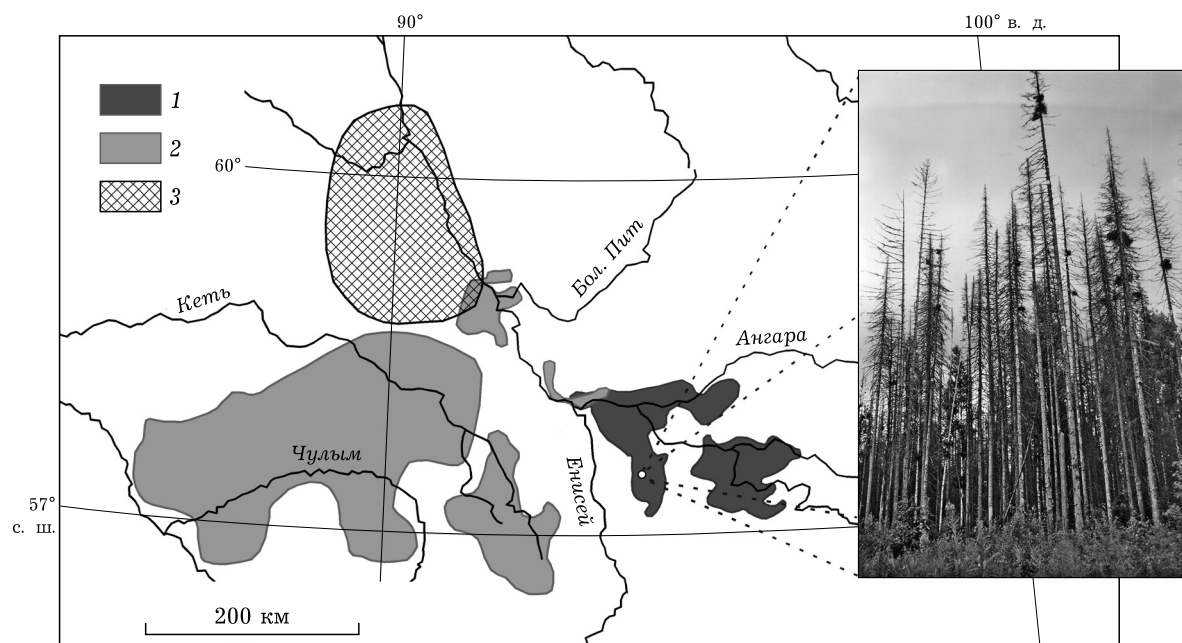


Рис. 1. Шелкопрядники, возникшие в 1993–1996 (1) и в 1951–1957 гг. (2); 3 – зона вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, начавшейся в 2014 г. На вставке – погибшие древостои

чалась в 1951–1957 гг. и сопровождалась гибелью древостоев на территории 1,5 млн га [Кондаков, 1974]. Крупномасштабный всплеск наблюдался в 1993–1996 гг. в междуречье рек Ангара и Енисей на территории более 1 млн га [Гродницкий и др., 2001; Kharuk et al., 2003, 2004] (рис. 1). В дальнейшем воздействию шелкопряда подвергались значительно меньшие площади (20 тыс. га в 2002 г. в горах Восточного Саяна и 10 тыс. га в 2012–2014 гг. на северном Алтае) [Kharuk et al., 2009, 2016]. Последняя вспышка этого вредителя возникла в 2014 г. в кедрово-пихтовых древостоях Енисейской равнины и охватила территорию ~300 тыс. га (по состоянию на 2016 г.; см. рис. 1).

Повреждение таежных лесов сибирским шелкопрядом влечет накопление значительных запасов горючих материалов, представляющих собой как собственно погибшие древостои, включая отпад, так и травяно-кустарниковые ценозы, развитие которых стимулируется осветлением верхнего полога. В весенне-раннелетний период травяно-кустарниковый покров становится легко воспламеняемым горючим материалом, способствующим возникновению и распространению лесных пожаров.

В настоящее время таежные леса Сибири представляют собой сток углерода. Одна-

ко вследствие потепления и возрастания засушливости климата данные древостои могут превратиться в источник углерода вследствие прогрессирования и увеличения площади лесных пожаров, на что указывают значимые тренды возрастания горимости сибирских лесов в последние десятилетия [Ropotmarev et al., 2016]. Другим следствием изменений климата может стать преумножение площадей древостоев погибших под воздействием насекомых, поскольку усиление аридности климата и увеличение продолжительности вегетационного периода способствуют возрастанию численности и расширению ареалов насекомых-вредителей [Kolb et al., 2016]. Последнее с высокой вероятностью повлечет за собой вспышки массового размножения сибирского шелкопряда на территориях, где ранее они не отмечались. Дополнительным фактором, способствующим возникновению лесных пожаров, является усыхание темнохвойных древостоев вследствие синергизма воздействия водного стресса и насекомых-ксилофагов [Kharuk et al., 2016].

В литературе имеются указания на возрастание горимости лесных территорий в зонах, погибших под воздействием сибирского шелкопряда (шелкопрядниках) [Коломиец, 1962; Фуряев, 1966]. Однако в имеющихся

публикациях отсутствуют количественные оценки воздействия шелкопряда на частоту и площадь пожаров в древостоях. Цель настоящей работы – количественный анализ частоты и площади пожаров в шелкопрядниках, а также рассмотрение следующих проблем:

- Какова сравнительная частота и площадь пожаров в шелкопрядниках и в неповрежденных древостоях?
- Какова связь горимости с эколого-климатическими переменными?
- Каково состояние возобновления темнохвойных в очагах повреждения древостоев?

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пронализирована сравнительная горимость в шелкопрядниках и неповрежденных кедрово-пихтовых древостоях. Погибшие и нарушенные древостои (шелкопрядники, $S = 460$ тыс. га) возникли в междуречье Енисей и Ангары вследствие вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в 1993–1995 гг., охватившей территорию ~1 млн га (рис. 1, 2).

Исследуемая территория расположена на слабо всхолмленном плато. Исходные древостои сформированы *Pinus sibirica* и *Abies*

sibirica со средним возрастом 135 лет и запасом древесины 200–230 м³/га соответственно. В примеси присутствовали сосна, ель, лиственница, осина и береза. Почвы преимущественно подзолистые. Годовое количество осадков составляет 400–500 мм, среднегодовая температура – минус 2,6 °С.

Выполнение работы базировалось на материалах дистанционного зондирования, эколого-климатических переменных, данных по горимости лесов и результатах наземных обследований. Полигоны гарей получены из банка данных ИЛ СО РАН, сформированного на основе обработки снимков NOAA/AVHRR и Terra/MODIS (разрешение 1000 м) [Ponomarev, Kharuk, 2016]. Точность определения площади гарей составляет >80 %; точность географической привязки – 1000 м.

Эколого-климатические переменные рассчитаны исходя из баз данных CRU 3.23 (температура воздуха, осадки; пространственное разрешение 0,5 × 0,5°; <http://www.cru.uea.ac.uk>) и MERRA2 (влажность напочвенного покрова в слое 0–2 см; пространственное разрешение 0,5 × 0,625°; <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/mdisc>). Индекс сухости SPEI рассчитывали по данным British Atmospheric Data Centre (<http://badc.nerc.ac.uk>). Величина SPEI служит мерой засухливости климата и пред-

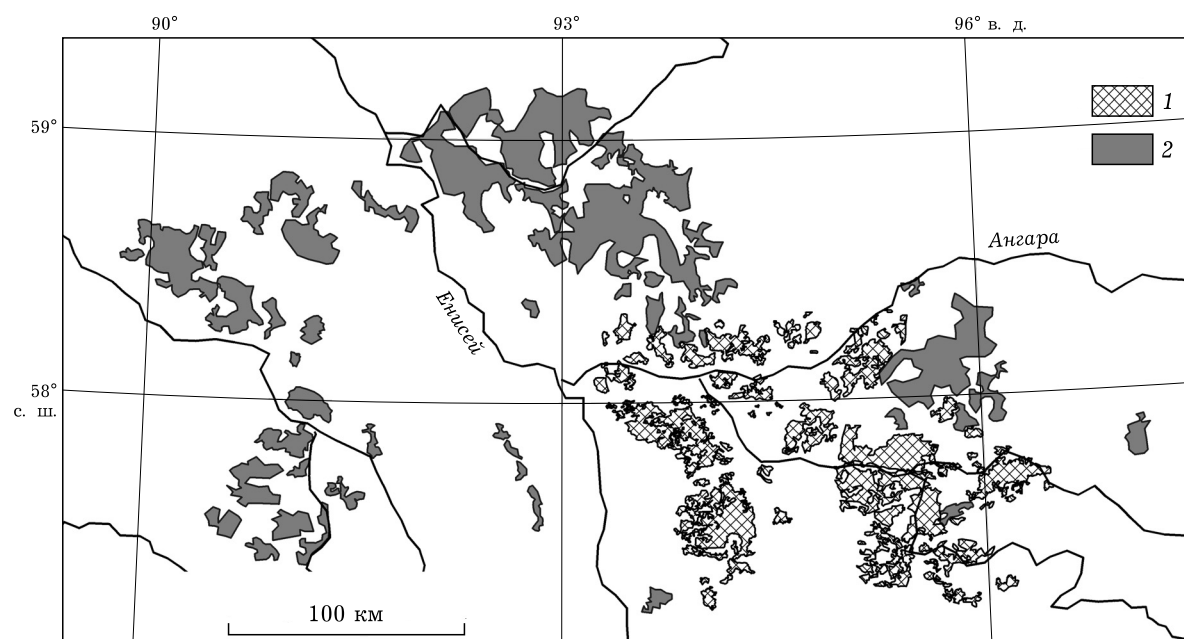


Рис. 2. Картосхемы объекта исследования: 1 – шелкопрядники ($S = 460$ тыс. га) и 2 – контроль (неповрежденные кедрово-пихтовые древостои; $S = 900$ тыс. га)

ставляет разность между величиной осадков и потенциальной эвапотранспирацией: $D = P - PET$ [Vicente-Serrano et al., 2010].

Цель полевых исследований – анализ состояния растительности на гарях в шелкопрядниках. Закладку пробных площадей (ПП) выполняли по методике, разработанной совместно сотрудниками Института леса им. В. Н. Сукачева и Института биогеохимии им. М. Планка (Германия) [Schulze et al., 2010]. Для каждой ПП определяли координаты ее центра, особенности рельефа, тип и характеристики почвы, структуру древесного полога, проективное покрытие живого напочвенного покрова по группам видов растений, вид и давность нарушений (при наличии). Численность, высоту и возраст возобновления на ПП оценивали в границах четырех учетных площадок (2×2 м), расположенных по направлениям сторон света на расстоянии 7,5 м от центра ПП. Подрост разделялся на две группы по высоте (до 1 м и выше); возраст определяли по мутовкам или годичным кольцам у шейки корня. На каждой ПП перекладку древостоя проводили путем выборочного перечета деревьев. Пробная площадь представляла собой три концентрических круга диаметром 3,5, 7,5 и 15 м. Перекладку древостоя проводили с учетом окружности деревьев. В первом круге минимальная длина окружности деревьев, принимаемая в перекладку, составляла 10, во втором – 30, в третьем – 60 см. Определяли вид древесного растения, азимут, дистанцию от центра пробной площади до дерева, длину окружности на высоте 1,3 м, высоту и статус дерева, высоту основания кроны. Выполняли учет сухостоя. Всего заложили восемь ПП в шелкопрядниках и одну ПП в ненарушенных темнохвойных насаждениях. На всех ПП наблюдали сильное задернение злаковыми, кипреем и хвощом; из кустарников присутствовали малина (*Rubus idaeus*) и смородина (*Ribes nigrum*). В подросте доминировали лиственные, преимущественно *Betula pendula* (в среднем 17 тыс./га). Численность возобновления пихты низкая (в среднем 0,7 тыс./га).

Древостой, поврежденные сибирским шелкопрядом, выделены с использованием картосхемы (М 1 : 400 000), составленной Восточно-Сибирским лесоустроительным предпри-

ятием [Ведомости..., 1996] и материалов экспортного дешифрирования снимков Landsat (пространственное разрешение 30 м; <http://earthexplorer.usgs.gov>). Площадь погибших древостоев, по состоянию на 1996 г., составила 460 тыс. га. В качестве контроля взяты неповрежденные темнохвойные древостой (площадь $S = 900$ тыс. га), аналогичные по своим характеристикам исходным шелкопрядникам (см. рис. 2). Указанные древостой выделены на основе дешифрирования снимков Landsat, относящихся к периоду до возникновения вспышки (1989–1992 гг.) с использованием карты лесов России М 1 : 1 000 000 [Барталев и др., 2011].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика горимости шелкопрядников и контроля существенно различаются. Максимумы количества и площади пожаров в пораженных древостоях наблюдаются ранее (май – июнь), чем в контроле (июль; рис. 3), что обусловлено наличием в шелкопрядниках мощного травяно-кустарникового покрова, развитие которого стимулировалось освещением верхнего полога и снижением корневой конкуренции. В весенне-раннелетний период сухой травостой представляет собой легко воспламеняемый горючий материал, способствующий возникновению и распространению пожаров.

За исследуемый период (1996–2015 гг.) в шелкопрядниках и контроле произошло 203 и 51 пожар соответственно, что в расчете на единицу площади составило 0,44 и 0,06 на тыс. га (рис. 4, а). Таким образом, количество пожаров в пораженных массивах леса семикратно превысило таковое в контроле.

Площадь пожаров в шелкопрядниках и контроле составила 216 и 21 тыс. га, что в процентах от площади объектов 47 и 2 % соответственно (см. рис. 4, б). Следовательно, относительная площадь пожаров в шелкопрядниках более чем в 20 раз превышает таковую в контроле.

В очагах размножения вредителя преобладают очень крупные пожары (их площадь >1000 га), тогда как в контроле – пожары меньшей площади (<1000 га; рис. 5).

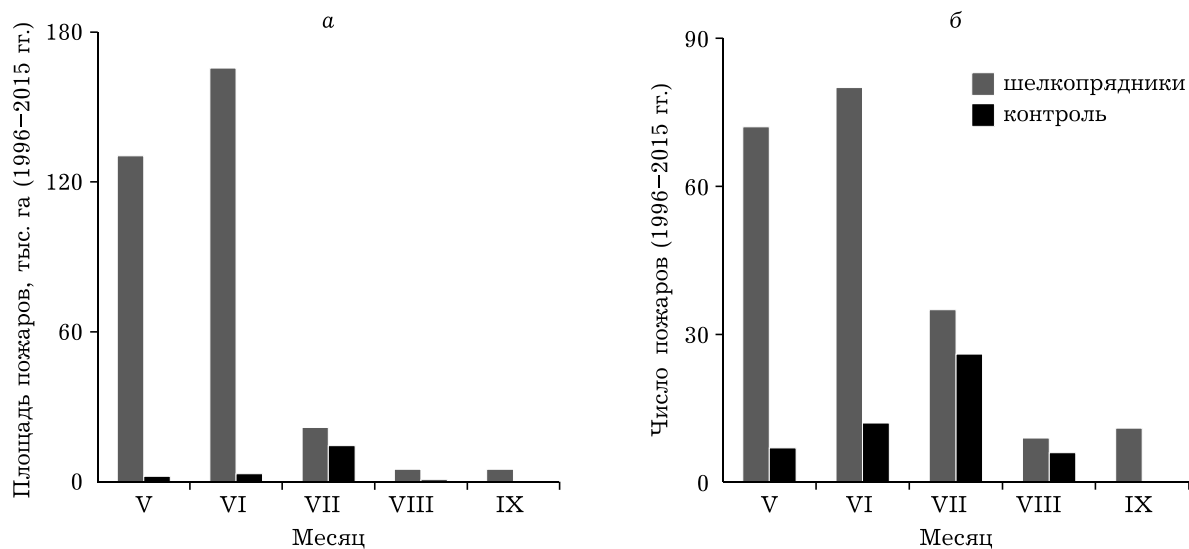


Рис. 3. Распределение площади (а) и количества (б) пожаров в течение пожароопасного периода в шелкопрядниках и в контроле

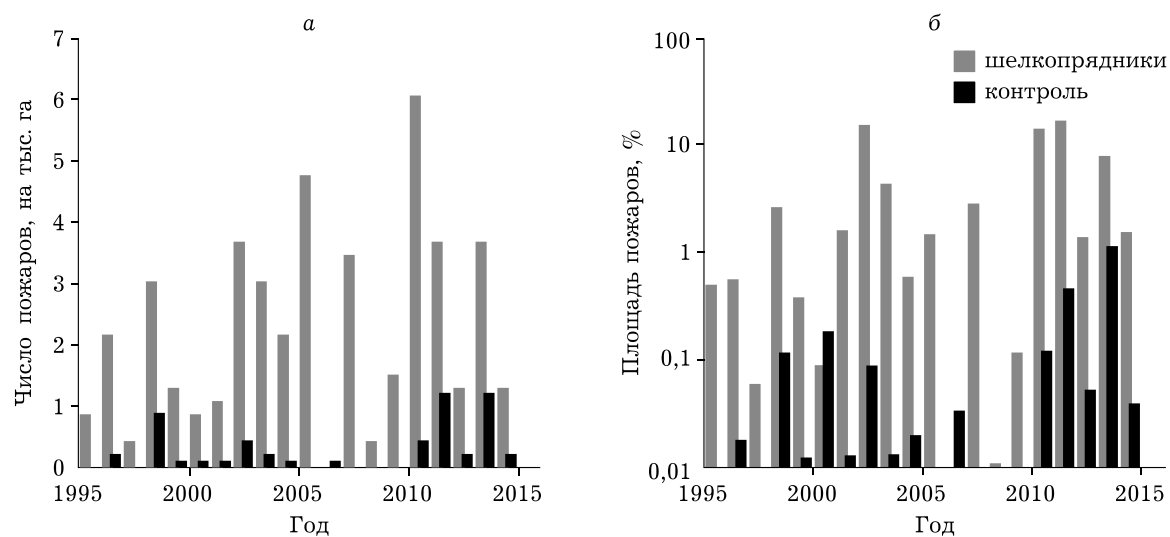


Рис. 4. Динамика количества (а, N/тыс. га) и площади (б) пожаров в шелкопрядниках и контроле, %

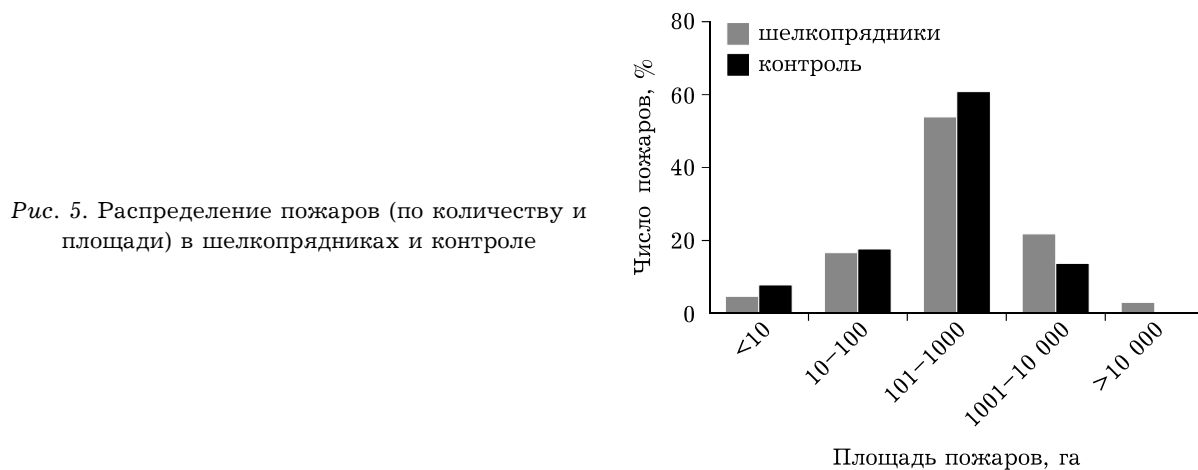


Рис. 5. Распределение пожаров (по количеству и площади) в шелкопрядниках и контроле

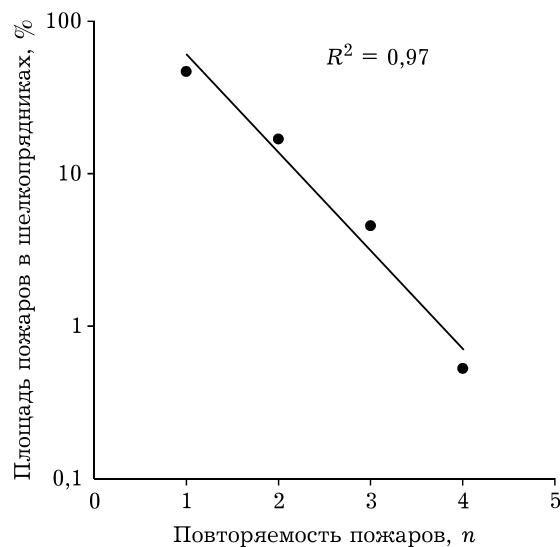


Рис. 6. Зависимость площади пожаров (%) от повторяемости пожаров в шелкопрядах

Для шелкопряда типичны многократные пожары: 17 и 5 % их площади пройдены огнем двух- и трехкратно соответственно; на 0,5 % территории пожары наблюдались четыре раза. В то же время в границах контроля происходили только однократные пожары. Площадь пожаров связана с повторяемостью пожаров логарифмической зависимостью (рис. 6), что согласуется с аналогичными данными для лесных пожаров на о-ве Сахалин [Kharuk et al., 2007].

Пожары в шелкопрядах, особенно многократные, уничтожая возобновление хвойных, препятствуют лесовосстановлению: спустя 20 лет после вспышки шелкопряда более 90 % пройденной огнем территории занято травяно-кустарничковыми и мелколиственными ценозами. Ранее В. В. Дудин [1958], анализируя шелкопряда, возникший в

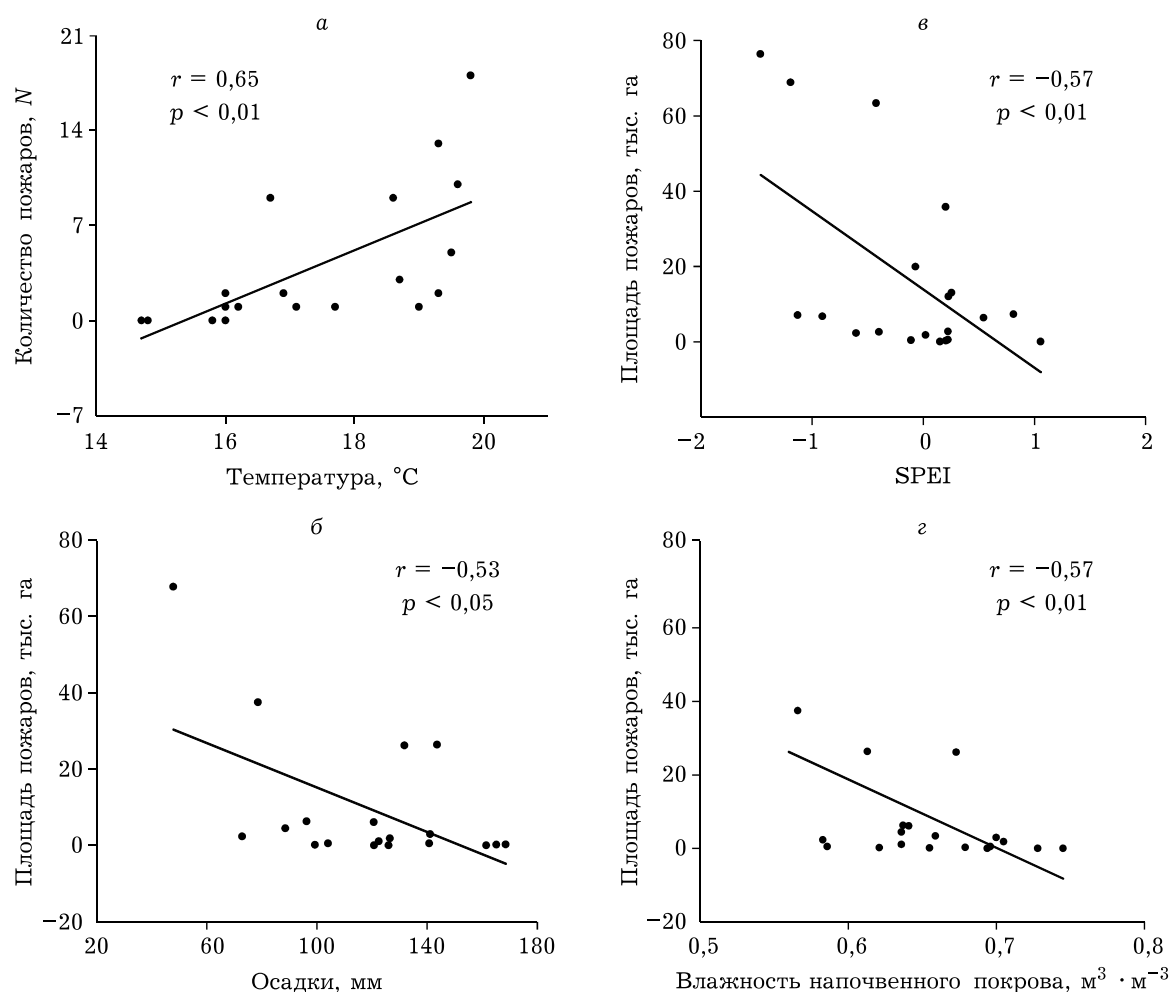


Рис. 7. Зависимость количества и площади пожаров в шелкопрядах от температуры (июнь) (а), осадков (июнь – июль) (б), индекса сухости SPEI (май – сентябрь) (в) и влажности напочвенного покрова (июнь – июль) (г)

Причудливое в 1914 г. ($S \sim 39$ тыс. га) установил, что площади возобновления представлены молодняками осины и березы (16 тыс. га) и старыми гарями (23 тыс. га). Через 25–30 лет под пологом листового молодняка начали появляться пихта, ель и редко – кедр. Н. Г. Коломиец [1962] также указывал, что хвойные древостои восстанавливаются после нападения сибирского шелкопряда медленно и плохо. Высокая горимость шелкопрядников указывает на то, что они, в отличие от исходных древостоев, представляют собой источники поступления углерода в атмосферу. Стоит отметить, что в листовничниках, в отличие от темнохвойных древостоев, пожары способствуют лесовозобновлению. Так, на гарях в зоне доминирования листовницы возобновление *Larix gmelinii* достигает 500–700 тыс./га [Kharuk et al., 2011].

Горимость шелкопрядников связана с эколого-климатическими переменными. Число пожаров коррелирует со среднемесячной (июньской) температурой воздуха ($r = 0,65$; рис. 7, а). Площадь пожаров связана отрицательной зависимостью с осадками ($r = -0,53$) и индексом сухости SPEI ($r = -0,57$), а также с влажностью напочвенного покрова ($r = -0,57$; рис. 7, б–г). Таким образом, число пожаров контролируется преимущественно температурой, тогда как площадь гарей – влажностью напочвенного покрова. Ранее для лесов Сибири в целом установлена связь числа пожаров, но не площадей гарей, с аномалиями температуры воздуха [Ponomarev, Kharuk et al., 2016].

Для горимости неповрежденных древостоев (контроля) значимых зависимостей между эколого-климатическими переменными не выявлено, что обусловлено, вероятно, относительно небольшим (по сравнению с шелкопрядниками) количеством и площадью пожаров.

В целом в лесах Сибири в последние десятилетия наблюдается возрастание частоты и площади пожаров, обусловленное возрастанием температуры и увеличением частоты и интенсивности засух [Ponomarev, Kharuk et al., 2016]. В ближайшей перспективе свой вклад в возрастание горимости может внести также усыхание темнохвойных Сибири, наблюдаемое в начале XXI в. в подзоне южной тайги [Kharuk et al., 2016].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повреждение кедрово-пихтовых древостоев в междуречье Енисея и Ангары сибирским шелкопрядом повлекло резкое возрастание горимости: в зоне вспышки в истекшие два десятилетия наблюдалось семикратное возрастание частоты и двадцатикратное – площади пожаров (по сравнению с контролем). Число возгораний контролируется преимущественно температурой воздуха, тогда как площадь пожаров – условиями увлажнения (осадками, индексом сухости, влажностью напочвенного покрова). Высокая горимость и многократные пожары в шелкопрядниках обусловлены развитием травяно-кустарничковых ценозов на месте погибших древостоев и являются источником поступления углерода в атмосферу за период более 20 лет. Кроме того, повторяющиеся пожары негативно воздействуют на лесовосстановление: более 90 % пройденной огнем территории зарастают травяно-кустарничковыми и мелколиственными ценозами.

В заключение следует отметить, что согласно прогнозируемым изменениям климата в бореальной зоне следует ожидать возрастания численности и расширения ареалов ряда насекомых-вредителей [Kolb et al., 2016]. Указанный прогноз подтверждает вспышка сибирского шелкопряда, возникшая в 2014 г. на значительном (>50 км) расстоянии от ранее установленной северной границы очагового распространения вредителя (см. рис. 1). Миграция этого насекомого на север, в темнохвойные древостои Енисейского края и листовничники подзоны средней тайги, стимулируется возрастанием температуры воздуха и засушливостью климата, увеличением продолжительности периода вегетации. Как следствие, увеличение площади шелкопрядников станет одним из факторов возрастания горимости таежных лесов под воздействием изменений климата.

Работа поддержана грантом РФФИ №17-05-01257 А.

ЛИТЕРАТУРА

- Бартаев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS //

- Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 4. С. 285–302.
- Ведомости учета древостоев, поврежденных сибирским шелкопрядом (по состоянию на 01.09.96) / Красноярск: Вост.-Сиб. гос. лесоустроительное предприятие, 1996.
- Гродницкий Д. Л., Разнобарский В. Г., Шабалина О. М., Павличенко Е. А., Солдатов В. В. Лесовозобновление в шелкопрядниках // Экологические аспекты лесовыращивания и лесопользования / под ред. Е. Н. Савина. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. С. 127–143.
- Дудин В. А. Проблема использования и восстановления шелкопрядников в Томской области. // Тр. по лесному хозяйству Сибири. Новосибирск. 1958. Вып. 4. С. 262–268.
- Коломиец Н. Г. Сибирский шелкопряд и его роль в хвойных лесах Западной Сибири. // Там же. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск. 1962. Вып. 7. С. 137–161.
- Кондаков Ю. П. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда. Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 206–264.
- Фуряев В. В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966. 92 с.
- Kharuk V. I., Ranson K. J., Kuz'michev V. V., Im S. T. Landsat-based analysis of insect outbreaks in Southern Siberia // Canad. Journ. Remote Sensing. 2003. Vol. 29 (2). P. 286–297.
- Kharuk V. I., Ranson K. J., Kozuhovskaya A. G., Kondakov Y. P., Pestunov I. A. NOAA-AVHRR Satellite detection of siberian silkmouth outbreaks in Eastern Siberia // Int. Journ. Remote Sensing. 2004. Vol. 20 (24). P. 5543–5555.
- Kharuk V. I., Kasischke E. S., Yakubailik O. E. The spatial and temporal distribution of fires on Sakhalin Island, Russia // Int. Journ. Wildland Fire. 2007. Vol. 16 (5). P. 556–562.
- Kharuk V. I., Ranson K. J., Im S. T. Siberian silkmouth outbreak pattern analysis based on SPOT VEGETATION data // Int. Journ. Remote Sensing. 2009. Vol. 30 (9). P. 2377–2388.
- Kharuk V. I., Ranson K. J., Dvinskaya M. L., Im S. T. Wildfires in Northern Siberian larch dominated communities // Environ. Res. Lett. 2011. N 6. 045208.
- Kharuk V. I., Demidko D. A., Fedotova E. V., Dvinskaya M. L., Budnik U. A. Spatial and temporal dynamics of Siberian silk moth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9, N 6. P. 711–720.
- Kolb T. E., Fettig C. J., Ayres M. P., Bentz B. J., Hicke J. A., Mathiasen R., Stewart J. E., Weed A. S. Observed and anticipated impacts of drought on forests insects and diseases in the United States // For. Ecol. Manage. 2016. Early online, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.051>.
- Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Ranson K. J. Wildfires dynamics in Siberian larch forests // Forests. 2016. Vol. 7 (125). DOI:10.3390/f7060125.
- Schulze E.-D., Heimann M., Harrison S., Holland E., Lloyd J. Global Biogeochemical Cycles in the Climate System. Jena: Acad. Press, 2010. P. 345.
- Vicente-Serrano S. M., Begueria S., Lopez-Moreno J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // J. Clim. 2010. Vol. 23. P. 1696–1718.

Silkmouth Outbreak Impact on the Taiga Wildfires

V. I. KHARUK^{1,2}, O. A. ANTAMOSHKINA^{1,2}

¹ V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28

² Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny ave., 79
E-mail: kharuk@ksc.krasn.ru

We provide a quantitative analysis of post-outbreak wildfire frequency within the confluence of the Yenisei and Angara affected by the Siberian silkmouth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.). That catastrophic outbreak was observed in 1993–1995, extended for about one million ha and caused stands mortality in the area of about 460 thousands ha. For outbreak area the fire frequency was about 7 times higher compared to the reference, burned area – 20 times higher. The peak of fire activity within outbreak areas occurs in May – June, while that for undamaged coniferous stands – in July.

The number of fires is correlated with the average monthly (June) air temperature ($r = 0.65$). The area of fires has a negative correlation with the moisture conditions: precipitation ($r = -0.53$), drought index (SPEI: $r = -0.57$), and ground cover moisture content ($r = -0.57$). Extensive fires prevail within outbreak areas ($S > 1000$ ha), while within control – smaller area fires. The multiple (re-occurred) wildfires are typical of pest outbreak area. The area of these fires is related to their re-occurrence by logarithmic dependency (17 % of the territory burned by forest fires twice, 5 % – three times, and 0.5 % four times). Wildfires in outbreak areas hinder initial forest recovery by destroying regeneration of coniferous: 20 years after the outbreak >90 % of disturbed areas are occupied by the grass-bush and small-leaved cenoses.

Key words: Siberian silkmouth outbreaks, forest fires, climate impact, taiga forests.