



УДК 911.2:528.88(57.2)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.3>

Пирогенное преобразование геосистем Западного Прибайкалья: факторы, условия, современное состояние

А. Ю. Бибаева

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Рассматриваются факторы пирогенного воздействия на таежные геосистемы Западного Прибайкалья на фоне современного преобразования глобальной циркуляции атмосферы. Приводятся результаты мировых научных исследований по моделированию изменения климата и связанных с ним неблагоприятных явлений погоды (длительные засухи, грозовая деятельность и др.), природных факторов, способствующих увеличению пирогенной нагрузки на геосистемы. С целью факторного анализа источников лесных пожаров района исследования проводится изучение пространственно-временного распределения очагов возгораний на основе данных дистанционного зондирования Земли, анализируются сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, данные об атмосферных явлениях (грозовой деятельности), суточные значения температуры воздуха и температуры почвы под естественным покровом на разных глубинах, результаты полевых комплексных физико-географических исследований за 2020 г. По результатам полевых исследований дается характеристика современного состояния геосистем. Выявляется, что пожары катастрофического характера, регистрируемые на территории исследования в 1997 и 2015 гг., происходили на фоне минимума грозовой активности. В то же время устанавливается, что ведущим фактором возгораний 2015 г. в центральной части Западного Прибайкалья выступали грозы.

Ключевые слова: Западное Прибайкалье, пирогенное воздействие, состояние геосистем.

Для цитирования: Бибаева А. Ю. Пирогенное преобразование геосистем Западного Прибайкалья: факторы, условия, современное состояние // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 35. С. 3–18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.3>

Введение

Изучение физико-географических факторов и условий динамических преобразований геосистем с учетом хозяйственной деятельности человека является актуальной задачей в современных условиях изменения климата. С середины 1970-х гг. отмечается тенденция к потеплению климата в северном внетропическом поясе [Beckwith], особенно сильно она проявляется над территорией Восточной Сибири [Bardin, Platova, 2019]. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, средние годовые аномалии температуры в период 1976–2019 гг. для Северного полушария составили +1,26 °С, для России +1,90 °С, для Восточной

Сибири $+2,20\text{ }^{\circ}\text{C}^1$. Предполагается [Lu, Vecchi, Reichler, 2007], что такие изменения могут быть вызваны «экспансией тропиков» в результате расширения ячейки Гадлея (Хэдли) и смещения ее нисходящей ветви в умеренные широты на 2° [Enhanced mid-latitude tropospheric ..., 2006] или на 4° [Lu, Vecchi, Reichler, 2007].

Преобразование крупномасштабной и региональной форм атмосферной циркуляции обуславливает резкую неустойчивость температурного режима различных регионов по сезонам, способствует увеличению числа блокирующих явлений в средней тропосфере [Оценка климатической уязвимости ..., 2019; Bardin, Platova, 2019], сопровождаемых повышением количества стихийных и опасных метеорологических явлений [Латышева, 2019]. Климатические изменения особенно заметны в горных районах. Так, для горных систем Европы с 1951 по 2010 г. отмечено увеличение периода и индекса пожароопасности по условиям погоды [Recent climate change ..., 2012, Dupire, Curt, Bigot 2017], прогнозируется дальнейшее их увеличение [Forest fire danger ..., 2014]. В Алтае-Саянском регионе выявлен резкий скачок частоты пожаров, наблюдающийся с конца XX в., обусловленный повышением температуры воздуха, снижением годового количества осадков, ростом индекса сухости [Ponomarev, Kharuk, 2016]. В Прибайкалье также регистрируется повышение средней сезонной температуры воздуха в весенний период на $3,28\text{ }^{\circ}\text{C}^2$, увеличение повторяемости засушливых периодов в теплое время года [Латышева, Голубева, Мишель, 2018], наблюдается тенденция к росту горимости лесов [Цветков, Буряк, 2014].

Целью исследования выступает анализ условий возникновения лесных пожаров и оценка современного состояния геосистем Западного Прибайкалья под воздействием пирогенного фактора.

Территория исследования

Район исследования охватывает северную часть Приморского хребта. По характеру морфоструктуры хребет представляет собой наклонный горст, северо-западный склон которого относительно пологий и длинный, а юго-восточный – резко обрывается к впадине Байкала. Рельеф осложнен дифференцированными глыбовыми перемещениями, сформировавшими сложную систему тектонических ступеней, горстов и грабенов в результате пересечения хребта системой поперечных разломов. Приморский хребет не имеет четко выраженного водораздельного гребня. Абсолютные высоты варьируют от 456 на побережье до 1350 м вглубь территории. Район характеризуется распространением светлохвойной тайги из сосны и лиственницы с примесью кедра в сочетании с горно-котловинными степями центральноазиатского типа.

¹ Обзор состояния и тенденций изменения климата России. Изменения климата 2019 г. (декабрь 2018 – ноябрь 2019). М. : Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Ин-т глоб. климата и экологии, 2019. 43 с.

² Там же.

Территория сложена зелено-лиловыми сланцами, песчаниками и туф-фитами среднего протерозоя, доверхнепротерозойскими (серпентикизированные передотиты, гарцбургиты; диабазы, диабазовые порфириты и кварцевые диабазы) и нижнепротерозойскими (порфиroidные средне- и мелкозернистые аликситоидные граниты) интрузиями; в устьевом участке долины р. Зама распространены пролювиально-озерные отложения [Карта полезных ископаемых ... , 1950].

Климатические особенности территории формируются на фоне глобальных циркуляционных процессов под влиянием горно-котловинного рельефа, определяющего режим увлажнения. Годовое количество осадков варьирует от 200–250 в горно-степных геосистемах восточного макросклона Приморского хребта и побережья до 500–700 мм – в верхнем поясе гор и западном макросклоне Приморского хребта [Байкал ... , 1993]. Внутригодовой режим атмосферных осадков характеризуется крайней неравномерностью: максимальное их количество свойственно летним месяцам, минимум приходится на зимний период. Как следствие, на территории развивается дефицит увлажнения в ранний весенний и поздний осенний периоды [Осадки и режим ... , 1977], что способствует формированию благоприятных условий распространения горения.

Район является малонаселенным и труднодоступным, характеризуется низким уровнем развития и состояния транспортной инфраструктуры – автомобильных дорог как общего пользования, так и лесных (лесовозных, лесохозяйственных, противопожарных). Большая часть дорожно-транспортной сети предназначена для эксплуатации в зимнее время в качестве снежноуплотненных и снежно-ледяных дорог. Поддержание в надлежащем состоянии отдельных участков лесных дорог летом производится малыми предприятиями по добыче полезных ископаемых с целью обеспечения проезда в Качугский район. Ближайшие населенные пункты (поселки Зама, Онгурен и др.) расположены в прибрежной части оз. Байкал.

Исходные материалы и методы исследования

Источником информации об очагах возгорания и территорий, пройденных огнем, послужили данные дистанционного зондирования Земли – космоснимки Landsat TM, ETM, OLI за период апрель – октябрь с 1975 по 2019 г. Дешифрирование космоснимков и выделение очагов и площадей возгорания производилось в автоматическом и ручном режиме с использованием геоинформационных систем.

В исследовании привлекалась база метеорологических данных Всероссийского исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ – МЦД) по станциям Баяндай, Сарма, Узур за период наблюдения с 1965 по 2012 г. Сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях³

³ Сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, нанесших социальные и экономические потери на территории России / ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 28.04.2020).

содержат информацию о тех явлениях, интенсивность которых превышает критические значения, установленные для данного района или сезона. В аспекте оценки горимости лесов Прибайкалья наиболее информативны следующие показатели: чрезвычайная пожарная опасность, сильная жара и низкая межень рек. Показатель «сильная жара» характеризуется достижением или превышением температурой воздуха опасного значения, установленного для данной территории с учетом 10%-ной повторяемости величин метеорологических характеристик. «Чрезвычайная пожарная опасность» устанавливается при 5-м классе пожарной опасности по условиям погоды (10 000 °C по формуле Нестерова). Показатель «низкая межень» определяется понижением уровня воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений и навигационных уровней на судоходных реках в конкретных пунктах в течение не менее 10 дней.

В работе использовались данные о суточных значениях температуры воздуха⁴ и температуры почвы⁵ под естественным покровом на основных (20, 40, 80, 160 и 320 см) и дополнительных (120, 240 см) глубинах. Ряд наблюдений на ст. Баяндай представлен 1965–2013 гг., на ст. Узур – 1963–2011 гг.; имеются пропуски данных на отдельных глубинах.

С целью факторного анализа источников возгораний анализировались данные об атмосферных явлениях, в частности о грозовой деятельности. В настоящее время развиты несколько мировых грозопеленгационных систем: WWLLN (США), Vaisala (США – Финляндия), TOA (США), Blitzortung (Германия). В России станции, интегрированные в мировую систему грозопеленгации, размещены на территории европейской части страны и лишь одна станция в Сибири – в г. Якутске; в остальных районах РФ данная сеть не развита.

На территории России существует две грозопеленгационные системы – система Росгидромета, развита также на европейской части России и Урале, и система «Веря» с закрытым доступом к данным. На территории Азиатской России наблюдения за грозовой активностью в настоящее время ведутся главным образом визуально, на сети метеорологических станций. Большинство инструментальных наблюдений проводятся на отдельных точках, носят спорадичный характер, доступ к их данным закрыт.

По этой причине в работе использовались статистические данные о числе дней с грозой (сроки) на метеостанции Баяндай в пожароопасный период апрель – октябрь с 1970 по 2018 г.⁶

⁴ Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Александрова Т. М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.10.2020).

⁵ Шерстюков А. Б. Описание массива суточных данных о температуре почвы на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации (версия 2). URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 28.04.2020).

⁶ Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Александрова Т. М. Указ. соч.

Полевые работы проводились в июле 2020 г. в центральной части Западного Прибайкалья. Маршрут исследования проложен через Приморский хребет в северо-западном направлении от пос. Зама по юго-восточному макросклону через горную седловину на высоте 1080 м над у. м. и далее по северо-западному макросклону вдоль русла р. Нижняя Иликта до ее правого притока – р. Курга. Выполнены комплексные физико-географические описания более 20 точек, включающие характеристику местоположения, основные сведения о состоянии растительного покрова спустя пять лет после пожара и в допожарный период, описания почв.

Характеристика горимости лесов

В центральной части Западного Прибайкалья чрезвычайная степень горимости лесов отмечалась в 1994, 1997, 2003, 2008, 2015 гг. Пик горимости лесов во все годы приходился на начало – середину мая, за исключением 2015 г., когда он сместился на вторую половину лета (июль – сентябрь). По данным ВНИИГИМИ, 2015–2017 гг. в Иркутской области характеризуются длительными периодами чрезвычайной пожарной опасности – со второй половины апреля до конца сентября – начала октября; регистрируется низкая межень на р. Лене⁷. В этот же период отмечается резкое увеличение площадей, пройденных огнем. Согласно полученным данным, общая площадь территорий, подверженных горению, в центральной части Ольхонского района составила: в 2013 г. – 29, в 2014 г. – 2470, в 2015 г. – более 17 800 га.

На рисунке 1 представлена картосхема очагов возгорания и площадей горения центральной части Западного Прибайкалья в 2015 г. Пирогенному воздействию подверглись горно-таежные геосистемы условий низко- и среднегорья. Первые очаги возгорания (3 ед.) зафиксированы 16–18 июня в подгольцовом поясе с кедровым редколесьем с подлеском из кедрового стланика. В дальнейшем очаги горения (5 ед.) обнаруживаются во второй половине июля (20–27 июля) в кедровых редколесьях с подлеском из кедрового стланика на высотах 1200–1400 м на у. м., лиственнично-сосновых чернично-зеленомошных лесах, произраставших на месте пихтово-кедровых травяно-зеленомошных лесов на высотах 850–1100 м; один очаг приурочен к восточному макросклону Приморского хребта с сосновыми травяными остепненными лесами с подлеском из рододендрона даурского. Новые возгорания отмечены 13–21 августа на склонах, обращенных к Байкалу, с сосновыми травяными остепненными лесами с подлеском из рододендрона даурского, примерно в 6 км к северу от пос. Онгурен. Суммарная площадь, пройденная огнем от 10 источников возгорания, составляет более 300 тыс. га.

По данным исследований в других регионах северного внетропического пояса [Lightning as a major ... , 2017; Dupire, Curt, Bigot, 2017], в Европе и США в 2014–2015 гг. также регистрировались самые большие площади, пройденные огнем, за период наблюдений с 1975 г.

⁷ Сведения о неблагоприятных условиях ...

Факторы и условия возникновения и развития лесных пожаров

Пространственно-временные закономерности возгораний на лесных территориях являются результатом сочетания различных факторов – источника возгорания, погодных условий, наличия и типа растительных горючих материалов, геоморфологических условий местности, состава травяно-кустарникового яруса.

Антропогенный фактор. Среди множества причин возникновения лесных пожаров первое место занимает антропогенный фактор. Известно, что по мере удаления от населенных пунктов, крупных транспортных магистралей и мест массового отдыха число возгораний уменьшается. В Прибайкалье значимым становится воздействие промышленного лесопользования, когда критическим фактором увеличения горимости лесов выступает близость лесных эксплуатационных дорог. Так, по данным Министерства лесного комплекса Иркутской области, в 2017 г. выявлено около 3000 случаев незаконных рубок лесных насаждений и около 1500 нарушений пожарной безопасности в лесах в пожароопасный период⁸.

На космических снимках ежегодно фиксируется множество очагов возгораний близ населенных пунктов и в зоне эксплуатационной доступности лесов в Баяндаевском, Эхирит-Булагатском и Качугском районах. Большая часть таких возгораний локализуется, однако в отдельные годы они переходят через Приморский хребет, подвергая пирогеенному воздействию геосистемы особо охраняемых природных территорий Заповедного Прибайкалья.

Грозовая деятельность. Другим источником пожаров, преобладающим на отдаленных территориях, являются грозы. Многими учеными в мире сообщается о повышении грозовой активности и увеличении из года в год площадей лесных пожаров в северном внетропическом поясе [Lightning as a major ... , 2017; Differing trends in ... , 2020; Lightning flash density ... , 2020]. Существует мнение [Projected increase in ... , 2014], что потепление климата на 1 °С может способствовать увеличению грозовой активности на 10–12 %.

Обращает на себя внимание тот факт, что в отличие от других регионов мира для территории Сибири установлена тесная взаимосвязь (+0,88) интенсивности грозовой деятельности с циклами солнечной активности со смещением всего на 0,1 года [Иванов, 2010].

Исследования грозовой активности в Северной Азии (60–180° в. д., 40–80° с. ш.) в период 2009–2017 гг. [Тарабукина, Кононова, Козлов, 2018] выявили пояс повышенной плотности грозовых разрядов, протянувшийся с запада на восток между 45-й и 60-й параллелями. В зону повышенной грозовой активности вошла территория Западного Прибайкалья; восточное побережье Байкала выявляется как зона локального снижения плотности грозовых разрядов порядка 10 крат.

⁸ Лесной план Иркутской области на 2009–2018 годы. Кн. 1. Пояснительная записка. Иркутск : Агентство лесного хозяйства, 2017. 406 с. URL: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/rus155903.pdf>

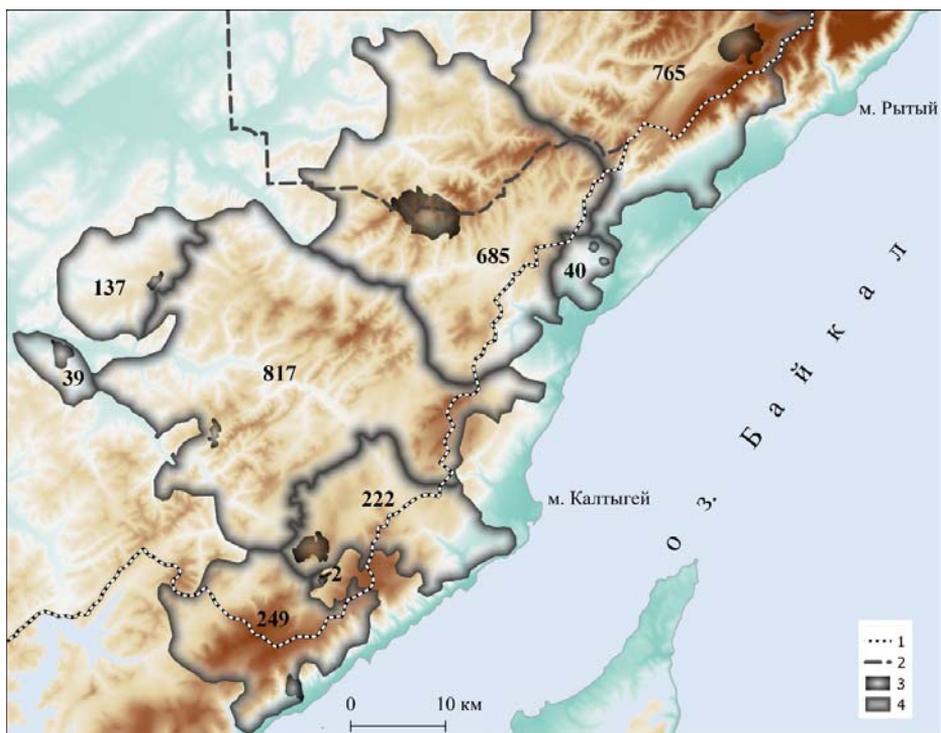


Рис. 1. Горимость лесов центральной части Западного Прибайкалья в 2015 г. по материалам космической съемки Landsat. 1 – граница Ольхонского муниципального района; 2 – граница ЦЭЗ БПТ; 3 – очаги возгорания; 4 – граница распространения огня от очага с указанием площади, пройденной огнем (в км²)

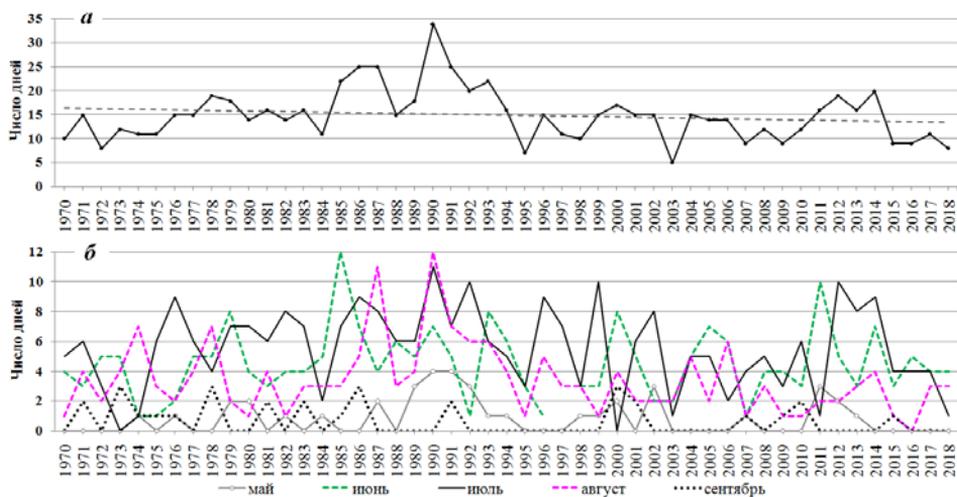


Рис. 2. Динамика числа дней с грозой на ст. Байндай в 1970–2018 гг.: а) суммарно за теплый период; б) по месяцам. Прим.: составлено автором по данным⁹

⁹ Обзор состояния и тенденций ...

В Прибайкалье наземные разряды молний составляют около 30 % от общего их числа [Филиппов, Хуторянская, Кречетов, 1977]. На пространственное распределение грозовой активности определяющее влияние оказывает рельеф местности. Пониженная повторяемость гроз наблюдается над акваторией оз. Байкал с центром в его северной части (ст. Давша) и в долине р. Ангары, что обусловлено циркуляционными особенностями атмосферы, связанными с преобладающими нисходящими токами воздуха в теплое время года. По мере удаления от Байкала повторяемость гроз увеличивается, достигая максимума в горных районах [Там же].

Примечательно, что на территории Восточной Сибири пики пожарной и грозовой активности не совпадают [Швецов, Сухинин, Пономарев, 2007]: основное число пожаров регистрируется в конце апреля – мае, в то время как максимальное количество гроз отмечается в июле. Таким образом, доля пожаров, возникающих в результате разрядов молний, на исследуемой территории должна быть минимальной, что согласуется с результатами, полученными для зоны 49–55° с. ш., 80–120° в. д., в 2005 г. доля лесных пожаров вследствие грозовой деятельности составила 3,6 % [Там же].

Согласно данным динамики числа дней с грозой на ст. Баяндай (рис. 2, а), в Западном Прибайкалье отмечается тенденция к снижению грозовой активности в период с 1970 по 2018 г. За период наблюдений наибольшая грозовая деятельность регистрируется в 1985–1987 и 1990–1991 гг., наименьшая отмечена в 1972, 1995, 2003 и 2015–2016 гг. (см. рис. 2, а). При этом наиболее ярко пик грозовой активности выражен в 1990 г. – 34 дня с грозой на фоне среднего значения 14 дней с грозой.

Внутригодовая изменчивость грозовой деятельности (см. рис. 2, б) характеризуется минимумом в мае и сентябре (до 4 дней с грозой), максимум приходится на июль в 57 % теплых сезонов (до 11 дней с грозой). В отдельные годы наблюдается смещение пика грозовой активности на июнь в 28 % теплых сезонов (до 12 дней с грозой) – 1985, 2000, 2005, 2011 гг. и август в 15 % теплых сезонов (до 12 дней с грозой) – 1974, 1978, 1987, 1990 гг.

Обращает на себя внимание, что на фоне снижения грозовой активности в 1994 и 2015 гг. в исследуемом районе регистрируются пожары катастрофического характера. В горных условиях пожарам от гроз достаточно часто подвержены кедровые насаждения, в силу того что почвы, на которых они произрастают, имеют высокое удельное электрическое сопротивление [Основные типы леса ... , 2012]. Наиболее показательным является 2015 г. На водораздельной поверхности и юго-западном склоне долины р. Средняя Иликта и ее правого притока р. Митькин зафиксированы три очага возгорания, приуроченных к мнимокоренным геосистемам вершинных поверхностей и склонов Приморского хребта с кедровым стлаником. Впервые в архивных данных космических снимков Landsat очаги возгорания фиксируются 18 июня 2015 г. общей площадью около 11 км². Распространение огня осуществляется от вершины вниз по склону, что косвенно может говорить в пользу естественного происхождения пожара – в результате молниевых разрядов. Кроме того, территория труднодоступна и значительно удалена от

населенных пунктов. В результате огнем за 90 дней пройдено более 1 тыс. км² территории, средняя скорость распространения фронта огня в северо-восточном направлении, по материалам дистанционного зондирования Земли, составила около 0,5 км/день (≈ 20 м/ч). В июле фиксируются новые очаги возгораний в северной и северо-восточной частях исследуемой территории, преимущественно в верхнем поясе гор; фронт огня движется навстречу существующим очагам горения в юго-западном направлении.

Современное состояние геосистем

Согласно карте «Ландшафты юга Восточной Сибири» [1977] на исследуемой территории выделяются 11 групп фаций, относящихся к девяти геомам: 1) гольцовые тундровые – склоновые гравитационно-солифлюкционные лишайниковые с разреженными зарослями кедрового стланика (С)¹⁰; 2) подгольцовые кустарниковые – вершинных поверхностей и склонов с кедровым стлаником (К); 3) подгольцовые темнохвойно-редколесные – выровненных поверхностей редколесные из кедра, пихты и ели (К), склоновые кедровые с подлеском из кедрового стланика (МК); 4) горно-таежные темнохвойные редуцированного развития – склоновые кедровые с лиственницей преимущественно бадановые (МК); 5) горно-таежные темнохвойные ограниченного развития – плоских поверхностей с кедром и пихтой кустарниково-мелкотравно-зеленомошные (К), склоновые пихтово-кедровые чернично-травяно-зеленомошные с баданом (МК); 6) подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные оптимального развития – подгорных равнин пихтово-кедровые мохово-травяные (МК); 7) межгорных понижений и долин таежные лиственничные ограниченного развития – долинные ерников (*Betula fruticosa* Pall.) с отдельными лиственницами (С); 8) горно-таежные сосновые – склоновые травяные с подлеском из рододендрона даурского остепненные (МК); 9) центральноазиатские горные степные даурского типа – террас и шлейфов мелкодерновинно-злаковые литофильные (МК).

Современное состояние геосистем территории исследования обусловлено главным образом периодическим воздействием пирогенного фактора на фоне изменения глобальных циркуляционных процессов. В данных условиях преобладающим вектором трансформации геосистемной структуры территории является замещение темнохвойной тайги светлохвойной. Коренные темнохвойные лиственнично-кедровые бадановые леса и пихтово-кедровые чернично-травяно-зеленомошные с баданом леса, ранее занимавшие пологие водоразделы и увлажненные склоны западных экспозиций, в настоящее время в результате периодического воздействия пирогенного фактора замещены устойчиво-длительно-производными лиственнично-сосновыми и сосново-лиственничными травяными лесами. По мнению О. А. Аненхонова, при устранении пирогенной нагрузки на геосистемы на фоне потепления климата будет наблюдаться тенденция к усилению роли

¹⁰ Здесь и далее по тексту: К – коренные, МК – мнимокоренные, С – серийные состояния геосистем.

темнохвойных лесов [Anenhonov, 2009], преимущественно за счет повышения зимних температур [Tendencies of hydroclimatic ... , 2012].

Уничтожение огнем горно-таежных сосновых остепненных лесов сопряжено с относительной ксерофитизацией их местообитаний, что способствует их замещению степными сообществами на длительный период времени.

По данным полевого исследования, проведенного в 2020 г., катастрофические пожары, прошедшие на территории в 2015 г., носили характер низовых устойчивых разной интенсивности. На площади более 300 тыс. га (см. рис. 1) огнем уничтожен весь травяно-кустарниковый ярус и напочвенный покров. Древесный ярус частично уничтожен пожаром, уцелевший древостой подвержен постпирогенной дигрессии – на отдельных участках регистрируются деревья с ослабленной жизненностью и сомкнутостью 0,2–0,3. На значительной части исследуемой территории наблюдаются завалы деревьев, большинство лесных дорог непроходимы.

Пожар оказал сильное влияние на почвенный компонент исследуемых геосистем. Отмечено [Лопатина, Белозерцева, 2020] снижение содержания гумуса вследствие выгорания органических горизонтов, приводящего к увеличению водопроницаемости грунтов легкого гранулометрического состава, снижению кислотности почв и концентрированию химических элементов в результате «зольного» эффекта, повышению активности воздействия почвообразующих пород на ветровалах.

По прошествии пяти лет после пожара постпирогенные сукцессии горно-таежных светлохвойных лесов характеризуются развитием *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. с проективным покрытием до 90–100 %, подрост древесных пород (преимущественно сосна) варьирует от 900 до 1200 экземпляров на 1 га. Восстановительная динамика горно-таежных темнохвойных лесов идет через березовое сообщество: на выположенных приводораздельных поверхностях и верхних частях склонов отмечаются сообщества *Betulapendula* Roth. с преобладанием в травяно-кустарничковом ярусе *Ledumpalustre* L. с участием *Chamaenerion angustifolium*, *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-ideae* L.; для западного макросклона Приморского хребта характерно развитие *Betula rotundifolia* Spach. с участием *Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb., *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-ideae*, *Vaccinium uliginosum*, в травяном покрове развито разнотравье – *Chamaenerion angustifolium*, *Tanacetum boreale* Fisch.ex DC., *Geranium sibiricum* L., *Sanguisorba officinalis* L. и др., в моховом покрове отмечены *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune* и *Peltigera* sp., подрост преимущественно из сосны (в среднем 0,3 м высотой) – 800–900 экз. на 1 га.

Периодическое воздействие пирогенного фактора на исследуемой территории способствовало изменению стокоформирующей и стокорегулирующей функции геосистем. Наряду с низкой меженью на р. Лене, регистрируемой в течение 2013–2017 гг., в ходе полевых исследований выявлено отсутствие водного стока на участке р. Правая Иликта от истока до впадения ее правого притока р. Курга.

Заключение

На фоне трансформации глобальных циркуляционных процессов все чаще в различных регионах мира наблюдаются неблагоприятные явления погоды (продолжительные дожди, наводнения, засухи и пр.), имеющие катастрофические последствия как для природы региона, так и для его социально-экономического развития. В последние годы отмечается увеличение числа атмосферных блокингов, способствующих формированию длительных периодов засух в Прибайкалье и, как следствие, увеличению горимости лесов территории.

Картографическое отображение и анализ распространения пожаров в центральной части Западного Прибайкалья позволяет раскрыть факторы и условия пирогенного воздействия на динамику и структуру современных состояний геосистем. В развитии катастрофических пожаров на территории исследования в 2015 г. ведущая роль принадлежит природному фактору – грозовой деятельности. Это подтверждается местоположением очагов возгорания (преимущественно в верхнем поясе гор) и динамикой их дальнейшего развития.

В ходе полевых исследований 2020 г. установлено, что пирогенному воздействию главным образом были подвержены восстановительные серии коренных горно-таежных темнохвойных и светлохвойных геосистем на территории площадью более 3000 км², пожары носили характер низовых устойчивых разной интенсивности. Огнем уничтожены мохово-лишайниковый покров, травяно-кустарниковый ярус и подлесок; древесные насаждения подвержены постпирогенной дигрессии, большая их часть погибла в течение последующих пяти лет.

Сукцессионное восстановление горно-таежных светлохвойных лесов в настоящее время характеризуется преобладанием сообщества из иван-чая узколистного, подрост сосны редкий и неравномерный. Восстановительная динамика геосистем горно-таежных темнохвойных лесов идет через березовое сообщество: на выположенных приводораздельных поверхностях отмечается развитие березы повислой с преобладанием кустарничков (голубика, брусника) и багульника болотного; западному макросклону свойственно развитие березы круглолистной с багульниково-злаково-разнотравным покровом. В результате вывала деревьев после прохождения пожаров большая часть лесных дорог не проходима наземным транспортом, что в дальнейшем может способствовать неконтролируемому распространению огня, увеличению площадей пирогенного воздействия, формированию длительно-производных серий геосистем и преобразованию пространственной структуры геосистем Байкальской природной территории на фоне изменения климата.

Благодарность. Автор выражает искреннюю благодарность О. В. Василенко за оказанное содействие в подборе метеорологических данных при подготовке данной статьи.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190056-4) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00253 А.

Список литературы

Байкал. Атлас / под ред. Г. И. Галазия. М. : Федер. служба геодезии и картографии России, 1993. 160 с.

Оценка климатической уязвимости западного побережья оз. Байкал / С. Ж. Воложнина, И. В. Латышева, К. А. Лощенко, К. В. Савватеева // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. С. 419–426.

Иванов В. А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск : Наука, 2010. 164 с.

Основные типы леса Сибири : учеб. пособие / В. А. Иванов, О. П. Каленская, А. Г. Лузганов, Л. В. Буряк. Красноярск : СибГТУ, 2012. 140 с.

Карта полезных ископаемых СССР. Серия Прибайкальская. М 1:200 000. М. : М-во геологии и охраны недр СССР, 1950. N-48-XXIV.

Осадки и режим увлажнения / Н. П. Ладейщиков, А. Х. Филиппов, Е. Г. Зежгендизе, И. К. Зусман, В. А. Оболкан, С. Ф. Резинкова // Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Новосибирск : Наука, 1977. С. 98–125.

Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта М 1:1500 000 / В. С. Михеев, В. А. Ряшин. М. : ГУГК, 1977.

Латышева И. В. Циркуляционные факторы изменений климата в Сибирском регионе // Тринадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу : тез. докл. рос. конф. Иркутск : Аграф-Пресс. 2019. С. 70–71.

Латышева И. В., Голубева Л. В., Мишель Т. Погодные и климатические факторы возникновения и распространения лесных пожаров в Иркутской области // Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2018. С. 28–32.

Лопатина Д. Н., Белозерцева И. А. Естественные и пирогенные почвы Приморского хребта // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 73–87.

Тарабукина Л. Д., Кононова Н. К., Козлов В. И. Сопоставление грозовой активности в некоторых регионах Северной Азии со сменой атмосферной циркуляции в летние сезоны 2009–2016 гг. // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2018. С. 420–428.

Филиппов А. Х., Хуторянская Д. Ф., Кречетов А. А. Грозовая деятельность и электричество // Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Новосибирск : Наука, 1977. С. 152–170.

Цветков П. А., Буряк Л. В. Исследования природы пожаров в лесах Сибири // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 25–42.

Швецов Е. Г., Сухинин А. И., Пономарев Е. И. Исследование пространственных и временных соотношений между молниевыми разрядами и лесными пожарами на территории Восточной Сибири // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. 2007. № 2 (15). С. 13–18.

Anenkhonov O. A. Changes in the cenoflora of dark-coniferous forests of the northern Baikal region under current climate warming // Geography and Natural Resources. 2009. Vol. 30, N 4. P. 355–358.

Bardin M. Yu., Platova T. V. Long-period Variations in Extreme Temperature Statistics in Russiaas Linked to the Changes in Large-scale Atmospheric Circulation and Global Warming // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol. 44, N 12. P. 791–801.

Beckwith P. Climate system change, from global to local: Lake Winnipeg Watershed. URL: <http://manitobawildlands.org/pdfs/MWL-002PaulBeckwithLWRCECClimateReportReduced.pdf> (дата обращения: 25.02.2020).

Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios / J. Bedia, S. Herrera, A. Camia, J. Moreno, J. Gutierrez // *Climatic Change*. 2014. Vol. 122, N 1-2. P. 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>

Dupire S., Curt T., Bigot S. Spatio-temporal trends in fire weather in the French Alps // *Science of the total environment*. 2017. Vol. 595. P. 801–817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.027>

Lightning flash density in Europe based on 10 years of ATDnet data / S.-E. Ennoa, J. Sugiera, R. Alberb., M. Seltzera // *Atmospheric Research*. 2020. Vol. 235, N 5. P. 104769. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104769>

Enhanced mid-latitude tropospheric warming in satellite measurements / Q. Fu, C. M. Johanson, J. M. Wallace, T. Reichler // *Science*. 2006. Vol. 312. P. 1179.

Lu J., Vecchi G. A., Reichler T. Expansion of the Hadley cell under global warming // *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. P. L06805. <https://doi.org/10.1029/2006GL028443>

Tendencies of hydroclimatic changes on the Baikal Natural Territory / E. V. Maksyutova, N. V. Kichigina, N. N. Voropai, A. S. Balybina, O. P. Osipova // *Geography and Natural Resources*. 2012. Vol. 33, N 4. P. 304–311.

Ponomarev E. I., Kharuk V. I. Wildfire occurrence in forests of the Altai–Sayan Region under current climate changes // *Contemporary Problems of Ecology*. 2016. Vol. 9, N 1. P. 29–36.

Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming / D. M. Roms, J. T. Seeley, D. Vollaro, J. Molinari // *Science*. 2014. Vol. 346 (6211). P. 851–854. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>

Differing trends in United States and European severe thunderstorm environments in a warming climate / M. Taszarek, J. T. Allen, H. E. Brooks, N. Pilguy, B. Czernecki // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2020. N 9. P. 1–51. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0004.1>

Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests / S. Veraverbeke, B. M. Rogers, M. L. Goulden, R. R. Jandt, C. E. Miller, E. B. Wiggins, J. T. Randerson // *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. P. 529–534. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3329>

Recent climate change: long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps / C. Wastl, C. Schunk, M. Leuchner, G. B. Pezzatti, A. Menzel // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012. Vol. 162–163. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.001>

Pyrogenic Transformation of Geosystems of the Western Cibaikalia: Factors, Conditions, Current State

A. Yu. Bibaeva

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The factors of pyrogenic impact on the taiga geosystems of the Western Baikal region against the background of the modern transformation of the global atmospheric circulation are studied in the paper. The results of world scientific research on modeling climate change and related adverse weather phenomena (prolonged droughts, thunderstorm activity, etc.) are presented. The natural factors contributing to the increase in the pyrogenic transformation of geosystems are described. The study of the spatio-temporal distribution of fires is carried out on the basis of data from remote sensing of the Earth. Information about unfavorable weather conditions and dangerous hydrometeorological phenomena, data on atmospheric phenomena (thunderstorm activity), daily values of air temperature and soil temperature under natural cover at different depths are analyzed in order to factorial analysis of forest fire sources in the study area. The characteristic of the current stage of geosystems is given based on field

research conducted in June 2020. It was revealed that catastrophic fires registered in the study area in 1997 and 2015 occurred against the background of minimal thunderstorm activity. At the same time, in the central part of the Western Baikal region thunderstorms were the leading factor in the 2015 fires. Five years after the fire, the restoration of mountain taiga light coniferous forests is characterized by the predominance of the community of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. The successional dynamics of the geosystems of mountain taiga dark coniferous forests is going through the *Betula rotundifolia* Spach. with *Ledum palustre* L. and cereal-forb ground cover. Undergrowth of tree species (mainly pine) is rare and uneven about 800–1200 specimens per hectare.

Keywords: Western Baikal region, pyrogenic impact, state of geosystems.

For citation: Bibaeva A.Yu. Pyrogenic Transformation of Geosystems of the Western Cibaikalia: Factors, Conditions, Current State. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 35, pp. 3-18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.3> (in Russian)

References

Baikal. Atlas [Baikal. Atlas]. Ed. G.I. Galazii. Moscow, Federalnaya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1993, 160 p. (in Russian)

Vologzhina S.Zh., Latysheva I.V., Loshchenko K.A., Savvateeva K.V. Otsenka klimaticheskoi uyazvimosti zapadnogo poberezh'ya oz. Baikal [Assessment of climate vulnerability of the western coast of the lake Baikal]. *Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii. Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Current trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia. Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference]. Irkutsk, 2019, p. 419-426. (in Russian)

Ivanov V.A. *Pozhary ot groz v lesakh Sibiri* [Fires from thunderstorms in the forests of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2010, 164 p. (in Russian)

Ivanov V.A., Kalenskaya O.P., Luzganov A.G., Buryak L.V. *Osnovnye tipy lesa Sibiri* [The main types of forests in Siberia]. Krasnoyarsk, SibGTU Publ., 2012, 140 p. (in Russian)

Karta poleznykh iskopaemykh SSSR. Seriya Pribaikalskaya [Map of mineral resources of the USSR. Pribaikalskaya series]. 1:200000. Ministerstvo geologii i okhrany nedr SSSR, 1950, N-48-XXIV (in Russian)

Ladeishchikov N.P., Fillipov A.Kh., Zezhgenidze E.G., Zusman I.K., Obolkan V.A., Rezinkova S.F. Osadki i rezhim uvlazhneniya [Precipitation and humidification regime]. *Struktura i resursy klimata Baikala i sopredelnykh prostranstv* [Climate structure and resources of Baikal and adjacent spaces]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, p. 98-125. (in Russian)

Landshafty yuga Vostochnoi Sibiri. Karta [Landscapes of the south of Eastern Siberia. Map]. 1:1500 000. Eds. V.S. Mikheev, V.A. Ryashin. Moscow, GUGK, 1977. (in Russian)

Latysheva I.V. Tsirkulyatsionnye faktory izmenenii klimata v Sibirskom regione [Circulating factors of climate change in the Siberian region. XIII Siberian Meeting and School of Young Scientists on Climate and Environmental Monitoring. Proceedings of the Russian conference]. Irkutsk, Agraf-Press Publ., 2019, p. 70-71 (in Russian)

Latysheva I.V., Golubeva L.V., Mishel' T. Pogodnye i klimaticheskie faktory vozniknoveniya i rasprostraneniya lesnykh pozharov v Irkutskoi Oblasti [Weather and climatic factors of the occurrence and spread of forest fires in the Irkutsk Region]. *Bezopasnost prirodopolzovaniya v usloviyakh ustoichivogo razvitiya* [Environmental safety in the context of sustainable development. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2018, p. 28-32. (in Russian)

Lopatina D.N., Belozertseva I.A. Estestvennye i pirogennye pochvy Primorskogo khrebra [Natural and Pyrogenic Soils of the Primorsky Ridge]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, vol. 33, p. 73-87. (in Russian)

Tarabukina L.D., Kononova N.K., Kozlov V.I. Sopostavlenie grozovoi aktivnosti v nekotorykh regionakh Severnoi Azii so smenoi atmosfernoii tsirkulyatsii v letnie sezony 2009–

2016 gg. [Comparison of thunderstorm activity in some regions of North Asia with a change in atmospheric circulation in the summer seasons of 2009–2016]. *Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii* [Current trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Irkutsk, Irkutsk ST. Univ. Publ, 2018, p. 420-428. (in Russian)

Filippov A.Kh., Khutoryanskaya D.F., Krechetov A.A. Grozovaya deyatelnost i elektrichestvo [Thunderstorm activity and electricity]. *Struktura i resursy klimata Baikala i so-predelnykh prostranstv* [Climate structure and resources of Baikal and adjacent spaces]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, p. 152-170. (in Russian)

Tsvetkov P.A., Buryak L.V. Issledovaniya prirody pozharov v lesakh Sibiri [Studies of fire nature in the forests of Siberia]. *Sibirskii lesnoi zhurnal* [Siberian journal of forest science], 2014, no. 3, p. 25-42. (in Russian)

Shvetsov E.G., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I. Issledovanie prostranstvennykh i vremennykh sootnoshenii mezhdru molnievymi razryadami i lesnymi pozharemi na territorii Vostochnoi Sibiri [Study of spatial and temporal correlations between lightningstrikes and forest fires in Eastern Siberia]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of the M.F. Reshetnev Siberian State Aerospace University], 2007, no. 2 (15), p. 13-18. (in Russian)

Anenkhnov O.A. Changes in the cenoflora of dark-coniferous forests of the northern Baikal region under current climate warming. *Geography and Natural Resources*, 2009, vol. 30, no. 4, p. 355-358.

Bardin M.Yu., Platova T.V. Long-period Variations in Extreme Temperature Statistics in Russiaas Linked to the Changes in Large-scale Atmospheric Circulation and Global Warming. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, vol. 44, no. 12, p. 791-801.

Beckwith P. Climate system change, from global to local: Lake Winnipeg Watershed. Available at: <https://manitobawildlands.org/pdfs/MWL-002PaulBeckwithLWRCEClimateReportReduced.pdf> (date of access: 25.02.2020).

Bedia J., Herrera S., Camia A., Moreno J., Gutierrez J. Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change*, 2014, vol. 122, no. 1-2, pp. 185-199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>

Dupire S., Curt T., Bigot S. Spatio-temporal trends in fire weather in the French Al. *Science of the environment*, 2017, vol. 595, pp. 801-817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.027>

Ennoa S.-E., Sugiera J., Alberb R., Seltzera M. Lightning flash density in Europe based on 10 years of ATDnet data. *Atmospheric Research*, 2020, vol. 235, no. 5, pp. 104769, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104769>

Fu Q., Johanson C.M., Wallace J.M., Reichler T. Enhancedmid-latitude tropospheric warming in satellite measurements. *Science*, 2006, vol. 312, p. 1179.

Lu J., Vecchi G.A, Reichler T. Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophysical Research Letters*, 2007, vol. 34, pp. L06805, <https://doi.org/10.1029/2006GL028443>

Maksyutova E.V., Kichigina N.V., Voropai N.N., Balybina A.S., Osipova O.P. Tendencies of hydroclimatic changes on the Baikal Natural Territory. *Geography and Natural Resources*, 2012, vol. 33, no. 4, p. 304-311.

Ponomarev E.I., Kharuk V.I. Wildfire occurrence in forests of the Altai–Sayan Region under current climate changes. *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 29-36.

Romps D.M., Seeley J.T., Vollaro D., Molinari J. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, 2014, vol. 346 (6211), pp. 851-854. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>

Taszarek M., Allen J.T., Brooks H.E., Pilguy N., Czernecki B. Differing trends in United States and European severe thunderstorm environments in a warming climate. *Bulletin of the American Meteorological society*, 2020, no. 9, pp. 1-51. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0004.1>

Veraverbeke S., Rogers B.M., Goulden M.L., Jandt R.R., Miller C.E., Wiggins E.B., Randerson J.T. Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change*, 2017, vol. 7, p. 529-534. <http://dx.doi.org/0.1038/NCLIMATE3329>

Wastl C., Schunk C., Leuchner M., Pezzatti G.B., Menzel A. Recent climate change: long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, vol. 162-163, pp. 1-13. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.001>

Бибеева Анна Юрьевна

*кандидат географических наук,
научный сотрудник*

*Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН*

Россия, 664033, г. Иркутск,

ул. Улан-Баторская, 1

e-mail: pav_a86@mail.ru

Bibaeva Anna Yurievna

Candidate of Sciences (Geography)

Research Scientist

*V. B. Sochava Institute of Geography
SB RAS*

1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,

Russian Federation

e-mail: pav_a86@mail.ru

Код научной специальности: 25.00.23

Дата поступления: 25.01.2021