



УДК 630.43(57.1/.6)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.38.54>

Циркуляционные факторы возникновения лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока летом 2019 и 2021 гг.

И. В. Латышева, С. Ж. Вологжина, К. А. Лощенко

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Осуществлен анализ факторов возникновения лесных пожаров на территории Сибири. Особое внимание уделено трем регионам: Красноярскому краю, Иркутской области и Республике Саха (Якутия). Изучены причины возникновения лесных пожаров, погодные и циркуляционные условия как ключевые природные факторы высокого уровня пожарной опасности в бореальных лесах северных регионов азиатской части России на примере территорий Красноярского края, Иркутской области и Якутии. Выполнена типизация синоптических процессов в средней и нижней тропосфере, отражающая преобладающий вклад процессов блокирования и подвижного циклогенеза в увеличение площади распространения и времени существования лесных пожаров. Оценена многолетняя динамика температурно-влажностных характеристик через расчетные значения гидротермического коэффициента, которые указывают на тенденцию увеличения вероятностных критериев «недостаточного увлажнения», а в отдельные годы слабых засух, что следует учитывать при прогнозировании лесных пожаров в бореальных лесах Сибири и Якутии. Выполнен сравнительный анализ адвективно-динамических факторов возникновения лесных пожаров на примере крупных лесных пожаров в Сибири начиная с 1897 г. Особое внимание уделено причинам возникновения крупных лесных пожаров летом 2019 и 2021 гг.

Ключевые слова: лесные пожары, бореальные леса, погода, климат, циркуляция, блокирование, антициклоны, дымовые шлейфы, засухи, гидротермический коэффициент.

Для цитирования: Латышева И. В., Вологжина С. Ж., Лощенко К. А. Циркуляционные факторы возникновения лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока летом 2019 и 2021 гг. // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 38. С. 54–70. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.38.54>

Введение

Исследованию причин возникновения пожаров и факторов, способствующих их распространению, посвящены работы ученых разных стран [López-Rodríguez, Rodríguez-Vicente, Marey-Pérez, 2021; Blokoy, 2010; Ferreira Leite, Bento Gonçalves, Vieira, 2011, Yevdokimenko, 2011; Prikhodko, Pretsiniek, Soboleva, 2020].

Природные пожары в северных малоосвоенных регионах России составляют значительную часть чрезвычайных ситуаций природного характера, при этом 70–90 % от всех площадей лесов, пройденных огнем, фиксируется на территории Сибири [Спутниковая оценка ... , 2015]. Сибирь – реги-

он, где сосредоточена основная часть бореальных лесов России, которые играют важную роль в поглощении и связывании углерода [Бореальные леса, 2020]. Среднее годовое поглощение углерода биомассой лесов составляет порядка 0,95–0,99 т/га/год. Основные потери углерода в биомассе бореальных лесов связаны с изъятием древесины при лесозаготовках, гибелью лесов, вызванной лесными пожарами, насекомыми-вредителями и болезнями леса, ветровалами и прочими факторами. Бореальные леса имеют преимущественно меридиональное простирание и приурочены к субарктическому и умеренному климатическим поясам. В свою очередь, бореальные леса – один из важнейших регуляторов климата планеты посредством осуществляемого энерго- и влагообмена [Planetary boundaries ... , 2015].

За последние 20 лет большой урон бореальным лесам России наносят лесные пожары, в результате которых ежегодно погибает не менее 3 млн га леса, что в 3 раза превышает площадь лесозаготовок. Ущерб от лесных пожаров достигает 20 млрд руб. в год [Анализ последствий ... , 2020]. Интенсивные верховые пожары, полностью разрушающие древостой, исторически были обычным явлением в Северной Америке и некоторых регионах России, в то время как низовые пожары преобладали в Евразии [Influence of tree ... , 2015]. К. Чендлер выделил два типа факторов возникновения лесных пожаров – постоянные и переменные [Fire in Forestry ... , 1983]. Количество и влажность горючих лесных материалов являются определяющими факторами пожароопасности. Антропогенный фактор во многом обуславливается расстоянием очага возгорания от дорог и удаленностью от населенных пунктов и рек. Среди погодных факторов, оказывающих влияние на возникновение и развитие пожаров, наряду с температурно-влажностными условиями следует выделить ветер. Усиление ветра вызывает иссушение лесных горючих материалов, увеличивает вероятность перехода низовых пожаров в верховые, скорость распространения и площадь лесных пожаров. Климатические факторы, которые ранее считались более устойчивыми во времени, в настоящее время характеризуются большей вариабельностью и представляют интерес для исследований.

Таким образом, если возникновение лесных пожаров часто связывают с деятельностью человека, то на их распространение оказывает воздействие комплекс различных факторов, которые нередко взаимно усиливают друг друга и поэтому определяют высокую скорость и большую площадь возгорания лесов. Эффективным средством выделения наиболее важных факторов, влияющих на лесные пожары, в настоящее время являются геоинформационные системы и спутниковые снимки, имеющие разное пространственное и спектральное разрешение. Для предупреждения лесных пожаров необходимо оценить риск их возникновения, который определяется как совокупность двух основных факторов – вероятности возникновения пожара и последствий пожара. Последствия воздействия лесных пожаров на окружающую среду и человека делят на три типа – экономические, экологические и социальные.

Постановка задачи и методы исследования

По данным спутниковых наблюдений активного горения, полученным на основе методики, разработанной в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) [Спутниковый мониторинг ... , 2017], лесные пожары в 2001–2016 гг. в основном возникали на территориях Сибири и Дальнего Востока, где относительно низкая плотность населения. При этом общая площадь, подвергшаяся лесным пожарам, не имела явно выраженных трендов, однако площади, проходимые пожарами по территориям, занятым разными типами растительного покрова, демонстрировали свою, порой разнонаправленную, динамику. Например, пожары, действующие на территории лиственных лесов, имеют только один явно выраженный пик горения – весенний, а летний пик горения для хвойных листопадных лесов оказался существенно выше весеннего пика.

Глобальные изменения, которые понимаются как интегральный результат изменений, обусловленных влиянием климата и антропогенной деятельностью, быстро трансформируют среду бореального леса. Предполагается, что на протяжении XXI в. среди всех лесных биомов именно бореальные леса испытают самое большое влияние климатических изменений, в том числе прогнозируемое увеличение температуры [Anticipating the consequences ... , 2013]. Также промышленное освоение территорий и добыча природных ресурсов, вероятно, окажут дополнительное отрицательное воздействие на состояние бореальных лесов. Поэтому ожидаемый уровень природных и антропогенных воздействий может превысить пределы устойчивости лесных экосистем [Reyer, Brouwers, Rammig, 2015]. С учетом предполагаемого роста засушливости климата в зоне бореальных лесов [Scheffer, Hirota, Holmgren, 2012] возрастет частота, площадь и интенсивность лесных пожаров.

В многолетней динамике за период 2017–2021 гг., по данным Федерального агентства лесного хозяйства и Авиалесоохраны, значительное увеличение площади лесных пожаров азиатской части территории России отмечается в 2019 и 2021 гг. (рис. 1). Обращает на себя внимание положительная динамика площади лесных пожаров в Якутии. Согласно статистическим данным Федеральной службы государственной статистики субъектов Дальневосточного федерального округа, в Республике Саха (Якутия) сохраняются крупные лесные массивы, составляющие 2,5% мировых и около 11 % запасов лесных ресурсов России. Общая территория, занятая лесом в Якутии, составляет 51 %, доминирующее положение занимают хвойные насаждения (84,4 %). В условиях засушливого климата, преобладания светлохвойных пород и больших равнинных пространств леса Якутии становятся чрезвычайно горимыми. Пожары возникают как по природным, так и по антропогенным причинам, среди которых немаловажную роль играют сельхозпалы. По данным [Спутниковый мониторинг ... , 2017], не все климатические и погодные факторы одинаково влияют на риск возникновения лесных пожаров в Якутии. Тесно коррелирует с характеристиками лесных пожаров интенсивность поступающей солнечной радиации, по мере увеличения кото-

рой повышается самовозгораемость лесных горючих материалов, которые быстрее высыхают в условиях ясной антициклональной погоды. Поэтому высоким оказался коэффициент парной корреляции ($r = 0,93$) количества очагов возгораний с максимальной температурой воздуха, устойчивые отрицательные корреляционные связи отмечаются с количеством выпавших атмосферных осадков. Влияние орографии проявляется в том, что количество лесных пожаров уменьшается с набором высоты ($r = -0,76$), так как с высотой понижаются температура воздуха, содержание водяного пара в атмосфере и количество биомассы. Скорость распространения пожара увеличивается на ровных участках, преимущественно южных и западных склонах, которые получают больше солнечного света и тепла по сравнению с северными и восточными склонами. Также вероятность лесных пожаров возрастает по мере удаления от рек и водоемов ($r = 0,91$), еще более тесная корреляционная связь отмечается с удаленностью от поселений ($r = -0,97$).

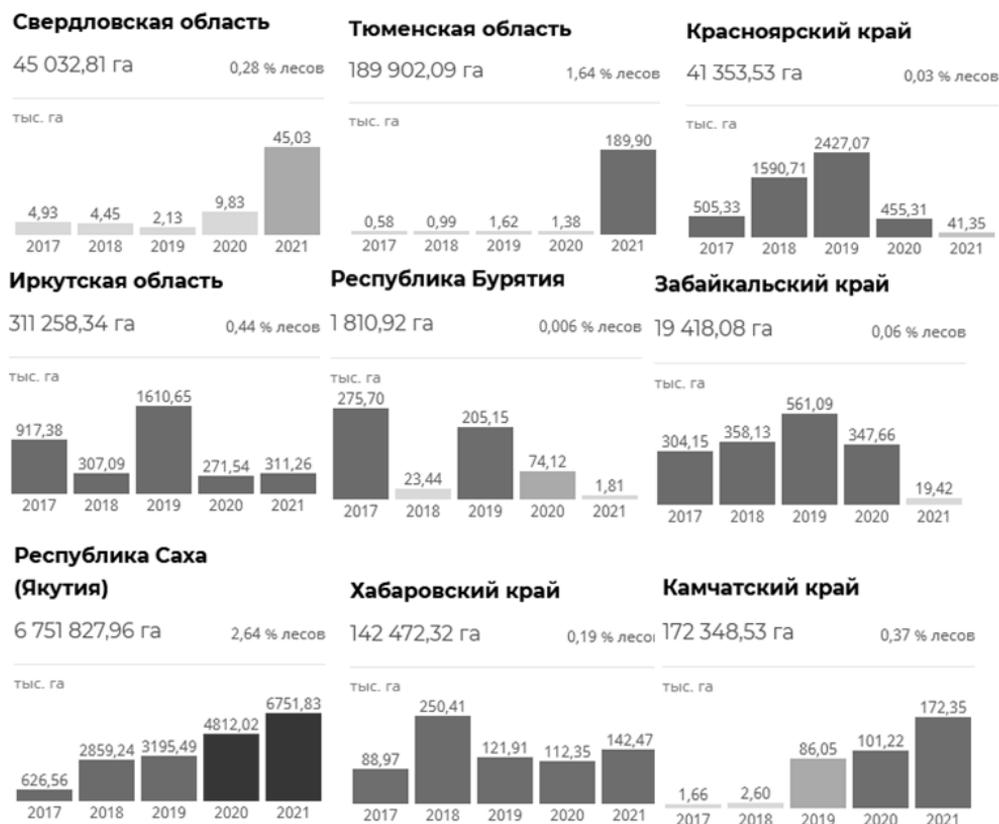


Рис. 1. Динамика площади лесных пожаров в регионах России по данным на 12.08.2021 [Лесные пожары ... , 2021]

При лесных пожарах в Якутии происходит полное уничтожение напочвенного покрова, полностью или частично выгорают поверхностные органические горизонты и, как следствие, резко изменяется гидротермический режим почв и увеличивается глубина сезонно-талого слоя. Растительный покров почти полностью восстанавливается в течение 50 лет после пожара, а уровень многолетней мерзлоты стабилизируется еще медленнее [Чевычелов, 2019]. Кроме того, малонаселенность и труднодоступность многих территорий Якутии способствует распространению пожаров на значительные площади.

В 2019 г. отмечался максимум лесных пожаров на территориях Иркутской области и Красноярского края. По данным Министерства лесного комплекса Иркутской области, лесистость территории Иркутской области составляет 82,6 %. Для сравнения: в целом по России под лесными землями занято лишь 75,1 % территории лесного фонда. На 76 % площади леса Иркутской области представлены насаждениями с преобладанием в составе хвойных пород, если же учитывать только древостои, то на долю хвойных приходится 81 % их площади, на долю мягколиственных – 19 %. При всем своем богатстве леса Иркутской области характеризуются высокой природной пожарной опасностью, которая возрастает в связи с увеличением площадей молодняков, лесных культур и вырубок. По классам природной пожарной опасности в большинстве случаев (62 %) в Иркутской области возможны лесные пожары средней и слабой степени (III–IV классы), преимущественно низовые [Анализ последствий ... , 2020]. В Красноярском крае лесистость территории тоже очень высокая и составляет 72,1 %. У северной границы распространения лесов доминирует сибирская лиственница, подзона средней тайги представлена в основном сосной и лиственницей. Пожароопасность в Иркутской области и Красноярском крае характеризуется тремя периодами горимости лесов: весенний (апрель – май), летний (июнь – август) и осенний (сентябрь – октябрь). На примере Иркутской области можно наблюдать, что весной в большинстве случаев (≥ 95 %) пожары возникают в 10-километровой зоне от населенных пунктов, преимущественно в южных и центральных районах области. Летом доля крупных пожаров достигает 40–50 %, при этом пожары часто вспыхивают на удалении от населенных пунктов в труднодоступных бездорожных зонах (тайге, горной и заболоченной местности). В осенний период пожары возникают в основном по причине деятельности человека в лесах (сбор дикоросов, открытие осенней охоты, вывоз древесины). Основной причиной лесных пожаров считаются сухие грозы (~86 %), неосторожное обращение граждан с огнем (~7 %), переход с земель иных категорий (~6 %) и другие причины (≤ 1 % от общего числа лесных пожаров). Министерство лесного хозяйства Красноярского края в качестве основных причин лесных пожаров рассматривает территориальные особенности региона (значительная протяженность и площадь территории) и природно-климатические условия, которые определяют региональную специфику развития пожарной ситуации в лесах. В частности, негативное влияние оказывают низкая транспортная доступность высоколесистых северных территорий края, резко континентальный климат с продолжительными периодами сухой погоды весной и летом [Летягина, Сторожева, Дадаян, 2020].

Для территорий Иркутской области, Красноярского края и Якутии, где преобладают низовые пожары, характеристики горения растительных горючих материалов во многом определяются влагосодержанием почвы, которое зависит от количества выпавших осадков и интенсивности испарения влаги, в свою очередь связанной с прогревом подстилающей поверхности и скоростью ветра, которые определяются типом господствующих погодных условий [Волокитина, Софронова, Корец, 2020]. В этой связи представляется целесообразным провести сравнительный анализ погодных условий летнего периода 2019 и 2021 гг., когда продолжительные пожары отмечались на территориях трех соседних регионов – Красноярского края, Иркутской области и Республики Саха (Якутия). Также интересно сопоставить по климатическим и циркуляционным условиям крупные лесные пожары на территории Сибири в указанные периоды в XIX и XX вв.

В качестве объектов исследования нами выбраны метеорологические станции, расположенные в районах лесных пожаров в Красноярском крае, – Тура (64°33' с. ш., 100°40' в. д., высота над уровнем моря – 168 м), в Иркутской области – Ербогачен (61°16'48" с. ш., 108°00'55" в. д., высота над уровнем моря – 282 м) и в Якутии – Сеген-Кюель (64°00' с. ш., 130°30' в. д., высота над уровнем моря – 208 м). Указанные станции находятся в зоне северной елово-кедрово-лиственничной тайги, сменяющейся к северу лиственничным редколесьем и участками мохово-лишайниковой тундры. Климат рассматриваемой зоны резко континентальный, с коротким, но относительно жарким летом и продолжительной холодной зимой, высокими амплитудами годовых и суточных температур воздуха. По данным Росгидромета [Погода и климат, 2021], средняя годовая температура воздуха варьирует от –8,4 °С на ст. Тура до –11 °С на ст. Сеген-Кюель. Средние температуры на исследуемых станциях летом различаются всего на 1–2 °С, различия зимних температур достигают 10–12 °С (рис. 2, а). Годовые амплитуды температуры воздуха варьируют от 47 °С на ст. Ербогачен до 59 °С на ст. Сеген-Кюель, амплитуды абсолютных значений температуры воздуха достигают 100 °С на ст. Ербогачен, изменяясь от –61,2 (1966 г.) до 38,8 °С (2017 г.). Годовые суммы атмосферных осадков колеблются от 345 на ст. Ербогачен до 423 мм на ст. Сеген-Кюель. В отличие от температур различия средних сумм атмосферных осадков наиболее выражено в июле и августе (от 46 на ст. Ербогачен до 75 мм на ст. Сеген-Кюель) (см. рис. 2, б). По числу дней с мглой, одной из основных причин которой являются лесные пожары, выделяются июль и август (см. рис. 2, в). В летние месяцы на станциях Ербогачен и Тура преобладающими являются штилевые условия, а на ст. Сеген-Кюель – ветры северо-западного и северного направлений (см. рис. 2, г). Таким образом, по климатическим данным наиболее благоприятные условия для возникновения лесных пожаров на исследуемых станциях в сезонном отношении складываются в июле и августе, а в пространственном – на севере Иркутской области. Согласно климатическим розам ветра при господствующих в теплый период года ветрах северного направления высока вероятность переноса дымовых шлейфов лесных пожаров в бореальных лесах на южные районы Восточной Сибири и Якутии.

Методика исследования включала оценку климатических условий пожароопасного периода бореальных лесов северных районов Сибири и Якутии. Наряду с изучением многолетней динамики температуры воздуха и атмосферных осадков рассчитывались значения гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) [Селянинов, 1928]. Индекс представляет собой отношение суммы осадков (мм) за какой-либо период календарного года к сумме активных (т. е. превышающих пороговое значение $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) среднесуточных температур воздуха в тот же период года, умноженный на 0,1. Разной степени увлажнения соответствуют следующие градации ГТК: $\text{ГТК} < 0,2$ – очень сильная засуха; $0,2 \leq \text{ГТК} < 0,4$ – сильная засуха; $0,4 \leq \text{ГТК} < 0,6$ – средняя засушливость; $0,6 \leq \text{ГТК} \leq 0,7$ – слабая засуха; $0,7 \leq \text{ГТК} < 1,0$ – недостаточное увлажнение; $1,0 \leq \text{ГТК} < 1,4$ – оптимальное увлажнение; $1,4 \leq \text{ГТК} < 1,6$ – повышенное увлажнение; $\text{ГТК} > 1,6$ – избыточное увлажнение [Грингоф, Павлова, 2013].

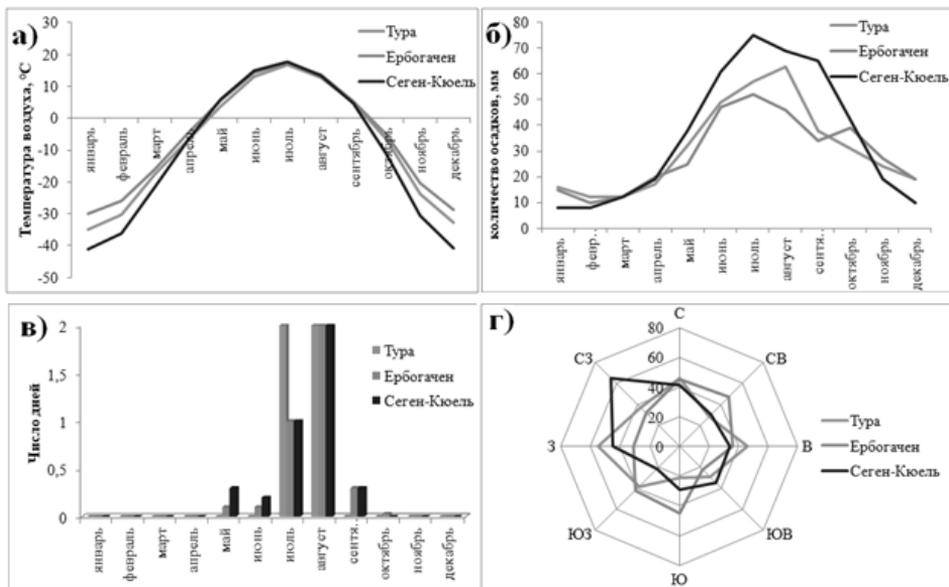


Рис. 2. Внутригодовое распределение средних значений температуры воздуха (а), сумм атмосферных осадков (б), числа дней с мглой (в) и суммарная повторяемость различных градаций направления ветра в летние месяцы (г)

Для определения вклада циркуляционных факторов в возникновение лесных пожаров на территории Сибири и Якутии были построены карты аномалий геопотенциальных высот АТ-500 гПа, атмосферного давления у поверхности Земли и аномалий ветра в средней тропосфере по данным реанализов и ежедневным синоптическим картам Гидрометцентра России [Синоптические карты, 2021]. Аномалии рассчитывались по отношению к новому периоду климатической нормы (1981–2010 гг.). Сопоставлялись адвективно-динамические факторы роста давления на территории Сибири и Якутии в годы крупных лесных пожаров начиная с 1897 г. Выявлялись траекто-

рии смещения воздушных масс, с которыми была связана адвекция теплого и сухого воздуха, определявшая условия для сохранения высокого уровня пожароопасности в рассматриваемых регионах.

Результаты исследований

Для оценки вклада наблюдаемых тенденций изменений климата в возникновение лесных пожаров в северных районах Красноярского края, Иркутской области и Якутии на примере указанных выше метеорологических станций были проанализированы изменения средних значений температуры воздуха и атмосферных осадков в пожароопасный период 1938–2020 гг., который по продолжительности соответствует периоду одновременных наблюдений на станциях. На севере Красноярского края, по данным ст. Тура, повышение средних годовых температур воздуха наиболее выражено с 2015 г. и обусловлено ростом температур в теплый период, преимущественно с апреля по июнь. В распределении сумм атмосферных осадков проявляется увеличение сумм выпавших осадков весной, их уменьшение в июне и июле и значительная межгодовая изменчивость в конце лета. На севере Иркутской области, по данным ст. Ербогачен, повышение температур наиболее выражено в мае, июне и августе, в холодный период отмечается увеличение сумм атмосферных осадков, а в теплый – их уменьшение, наиболее выраженное в июле и августе. На севере Якутии, по данным ст. Сеген-Кюель, устойчивый рост средних годовых температур начался раньше, но в последние годы также вызван в основном повышением температур в апреле и в мае, тогда как в распределении атмосферных осадков почти во все месяцы года отмечалось их увеличение. Оценка условий увлажнения по рассчитанным значениям гидротермического коэффициента засушливости (ГТК) в летние месяцы (июнь – август) исследуемого периода 1938–2020 гг. показала следующее. Средние значения ГТК изменялись от 1,1 на севере Иркутской области (ст. Ербогачен) до 1,4 на севере Якутии (ст. Сеген-Кюель), что соответствует критерию «оптимального увлажнения». Однако последние два десятилетия в условиях роста температур и уменьшения сумм атмосферных осадков в летний период параметры увлажнения на севере Иркутской области и Красноярского края чаще соответствуют критерию «недостаточного увлажнения», а в отдельные годы отмечаются слабые засухи (рис. 3). В последние два года засушливые условия отмечались и на севере Якутии. Таким образом, с начала XXI в. погодные условия способствовали возникновению и распространению лесных пожаров в зоне бореальных лесов северных районов Сибири и Якутии.

Были сопоставлены циркуляционные условия крупных лесных пожаров, которые происходили на территории Сибири в 1897, 1898, 1915, 1916, 1953, 1956 и 1957 гг., и проведено их сравнение с условиями возникновения лесных пожаров в 2019 и 2021 гг. Оказалось, что в летние месяцы 1897 г. антициклонез отмечался в высоких широтах Евразии в зоне 100–180° в. д., а на территорию Сибири с юго-западными и южными потоками на высотах осуществлялась адвекция теплого и сухого воздуха со Средней Азии и Монголии (рис. 4, а).

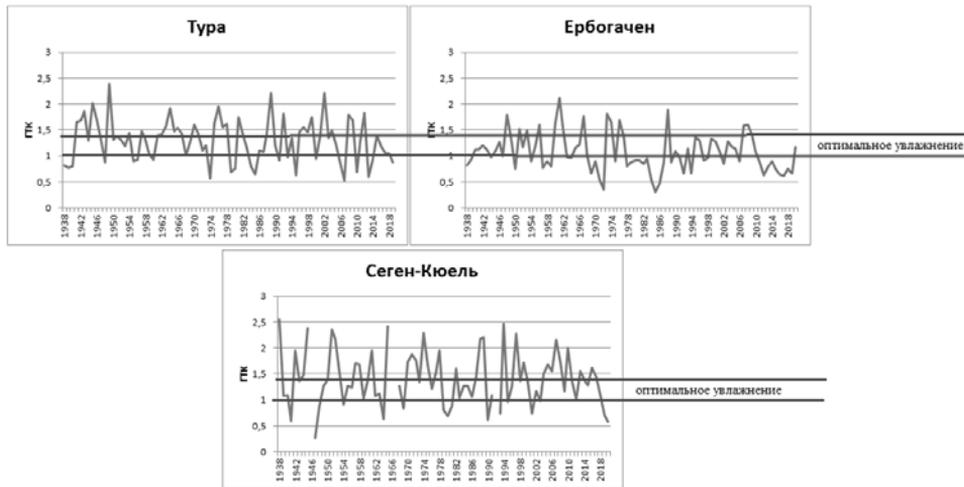


Рис. 3. Изменение гидротермического коэффициента в летние месяцы 1938–2020 гг. на метеостанциях Тура, Ербогачен и Сеген-Кюель

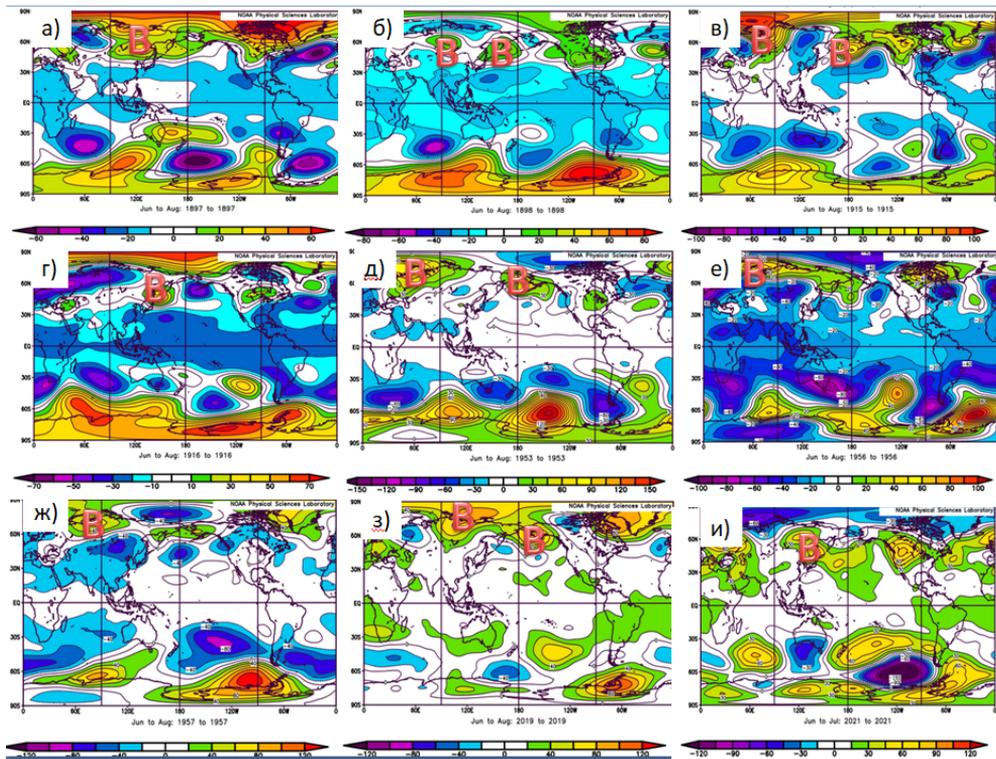


Рис. 4. Карты аномалий геопотенциальных высот АТ-500 гПа (гПм) в летние месяцы (июнь – август) 1897 (а), 1898 (б), 1915 (в), 1916 (г), 1953 (д), 1956 (е), 1957 (ж), 2019 (з) и 2020 гг. (и)

В 1989 г. при сохранении антициклогенеза над полюсом в приполярных широтах происходило смещение циклонов по северной периферии высотного гребня, расположенного над Сибирью, в теплых секторах которых осуществлялась адвекция теплого и сухого воздуха (см. рис. 4, б). В 1915 г. в высоких широтах также преобладали положительные аномалии в поле геопотенциала, приземный антициклогенез отмечался в обширной зоне 60–120° в. д. при развитии циклогенеза над Якутией (рис. 4, в). В 1916 г. хорошо выражены ослабление зоны подвижного летнего циклогенеза над Монголией и вклад южной составляющей ветра в средней тропосфере над Сибирью (рис. 4, з). Более достоверный анализ можно сделать по данным, начиная со второй половины XX в. Установлено, что в 1953 г. теплые и сухие воздушные массы, по данным метеостанций Тура, Ербогачен и Сеген-Кюель, оказывали господствующее влияние на погодные условия северных районов Сибири и Якутии в период с апреля по июнь, аномалии средних месячных температур воздуха весной на севере Сибири достигали 4,5–4,6 °С и были связаны с ослаблением циклогенеза над Атлантикой и преобладанием динамических факторов роста давления над севером Сибири (рис. 4, д). В пожароопасный период 1956 и 1957 гг., в отличие от 1953 г., отрицательные аномалии месячных сумм осадков чаще наблюдались при отрицательных аномалиях средней температуры воздуха и положительных аномалиях геопотенциала над значительной частью умеренных широт Евразии. Также хорошо выражено усиление вклада теплых и сухих воздушных масс с юга в передней части высотного гребня, господствующего над Восточной Сибирью (рис. 4, е). В 2019 и 2020 гг. обращает внимание увеличение общей площади, занятой положительными аномалиями геопотенциала в Северном и Южном полушариях, что связано с общим повышением температур, хорошо выраженным в средней тропосфере, в том числе над севером Сибири – в зоне, где часто происходили лесные пожары (рис. 4, ж, з).

Различия синоптических условий летнего пожароопасного сезона 2019 и 2021 гг. связаны с тем, что летом 2019 г. подвижный циклогенез фиксировался над европейской частью России с активным выносом теплого воздуха в передней части циклонов на север Сибири. Летом 2021 г. наблюдалась активизация циклогенеза над морями юга России, смещение южных циклонов и их стационарирование над Таймыром (рис. 5). Над северными районами Якутии в июне 2021 г. отмечались рекордно высокие температуры воздуха, достигающие на ст. Сеген-Кюель 34 °С при 50%-ной норме атмосферных осадков, июль был одним из самых сухих за период метеорологических наблюдений, когда выпало 15 % от месячной нормы осадков. Стационарирование антициклона над Якутией с третьей декады июля практически до середины августа 2021 г. обусловило значительное увеличение площади лесных пожаров, тепловые выбросы которых, очевидно, поддерживали развитие высотного блокирующего антициклона.

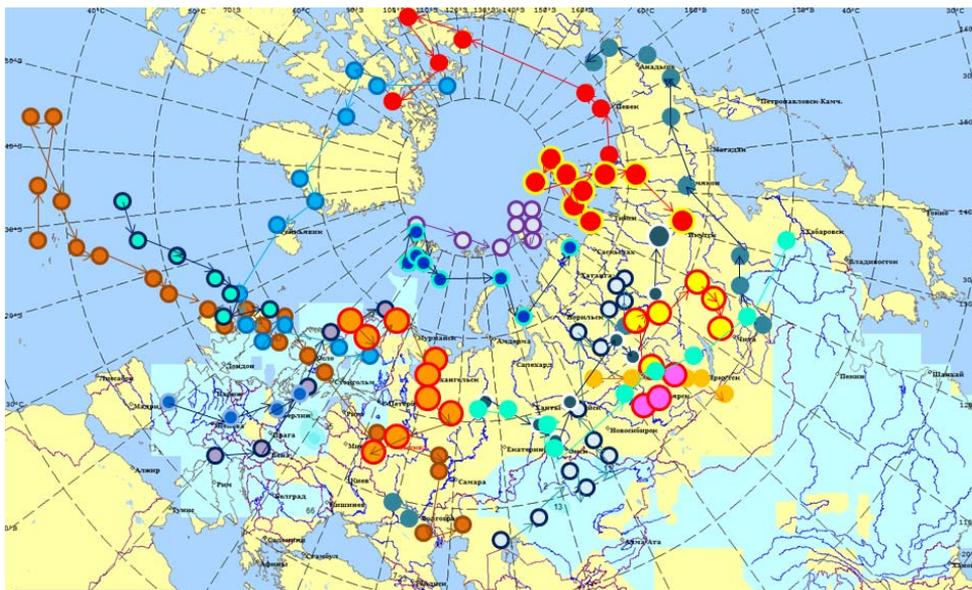


Рис. 5. Траектории смещения центров циклонов (показаны оттенками синего, зеленого и фиолетового цветов) и антициклонов (оттенки красного, оранжевого и желтого цветов) в июле 2021 г. по ежедневным картам погоды Гидрометцентра России [Синоптические карты ... , 2021]

Для более детального анализа по ежедневным синоптическим картам была выполнена типизация синоптических процессов на уровне изобарической поверхности АТ-500 гПа и у поверхности Земли в июле 2021 г. Рассматривались северные районы Красноярского края, Иркутской области и Якутии и для сравнения территория Забайкалья, все они характеризуются высоким уровнем пожарной опасности в последние годы. Оказалось, что в июле 2021 г. наибольшее количество случаев (61 %) с антициклональным типом погодных условий в средней тропосфере регистрировалось над Якутией, где пожары занимали наибольшую площадь по сравнению с другими регионами. Господствующим типом атмосферных процессов здесь были блокирующие антициклоны и высотные гребни, тогда как на территории соседних регионов – северные районы Красноярского края и Иркутской области – чаще отмечалось влияние малоподвижной высотной фронтальной зоны (ВФЗ) (рис. 6). На территории Забайкалья чаще проходили оси высотных ложбин, сопровождающиеся конвергенцией разнородных воздушных масс и, как следствие, более благоприятными условиями для выпадения атмосферных осадков.

У поверхности Земли также наиболее благоприятные условия для возникновения и распространения лесных пожаров в июле 2021 г. складывались на территории Якутии, где в 65 % случаев отмечался антициклональный тип погодных условий (рис. 7). Для сравнения на севере Красноярского края такие условия устанавливались в три раза реже, а на севере Иркутской области в два раза реже.

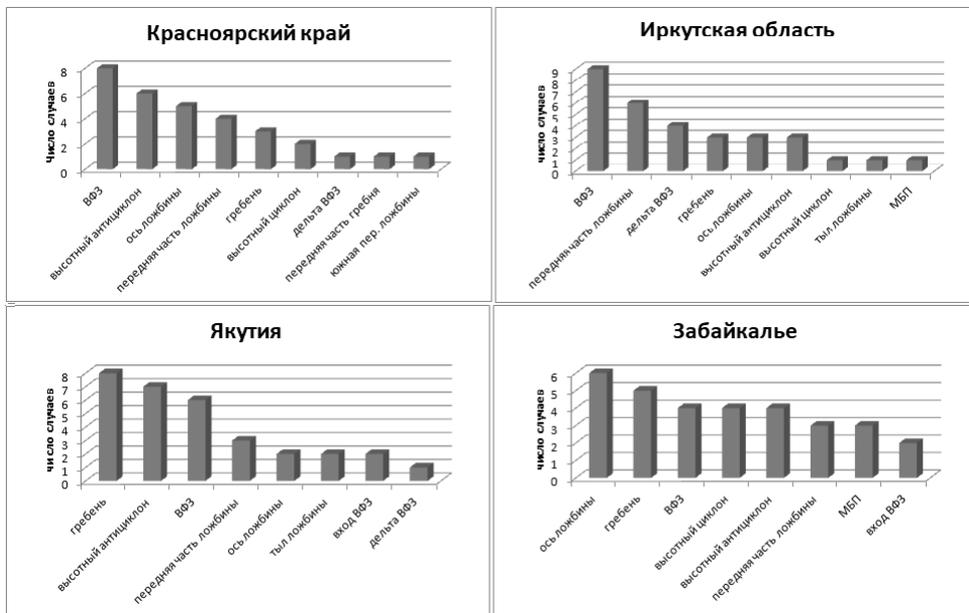


Рис. 6. Типизация синоптических процессов на уровне АТ-500 гПа в июле 2021 г. на севере Красноярского края, Иркутской области, Якутии и в Забайкалье

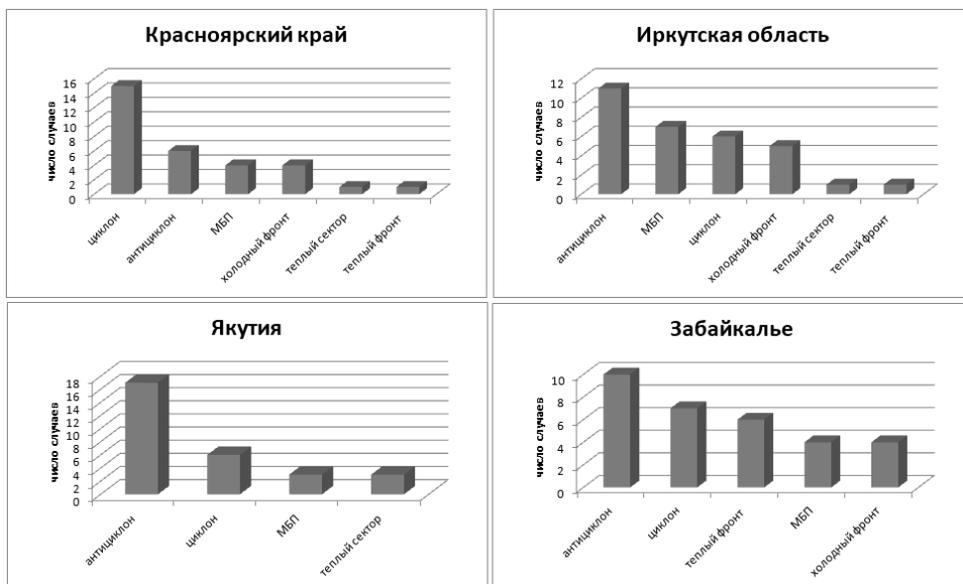


Рис. 7. Типизация синоптических процессов у поверхности Земли в июле 2021 г. на севере Красноярского края, Иркутской области, Якутии и в Забайкалье

Таким образом, существенный вклад в увеличение площади лесных пожаров и продолжительности их распространения на территории Якутии летом 2021 г. внесли погодные и циркуляционные условия. В том числе длительное отсутствие атмосферных фронтов, которое было детерминировано процессами блокирования над Якутией, отсутствием благоприятных факторов для образования монгольских циклонов, а также блокирующим влиянием антициклонов над Уралом для смещения атлантических циклонов вглубь материка. В результате погодные условия территории Якутии длительное время определял полярный антициклон, развитие которого поддерживалось адвекцией тепла вдоль его западной периферии от сопряженного высотного циклона над севером Сибири и адвекцией холода вдоль восточной периферии антициклона в тыловой части высотного циклона с центром над северо-востоком России. Кроме того, нисходящие потоки и господствующая сухая воздушная масса в антициклоне препятствовали развитию конвективной облачности и выпадению внутримассовых осадков. Так называемые сухие грозы, когда в условиях высоких температур выпадающие осадки быстро испаряются, не достигая земной поверхности, либо не всегда могут быть зафиксированы в условиях редкой сети метеорологических станций, по данным ст. Сеген-Кеуль, летом 2021 г. отмечались только один раз в июне и три раза в июле. Наряду с указанными факторами при создавшихся барических градиентах возникновению и распространению лесных пожаров способствовал более сильный ветер.

Заключение

Повышение температур и усиление засушливости климата в начале XXI в. определяют благоприятные погодные условия для увеличения количества и площади лесных пожаров в бореальных лесах на территории Сибири и Якутии. Сравнительный анализ циркуляционных факторов высокого уровня пожарной опасности в Сибири начиная с 1897 г. показал, что существенный вклад наряду с процессами блокирования в средней тропосфере и длительным стационарированием приполярных антициклонов у поверхности Земли вносят процессы южного циклогенеза на полярной ветви высотной фронтальной зоны. При прогнозировании климатических факторов лесных пожаров следует учитывать, что продолжительность пожароопасного сезона на севере Сибири и Якутии существенно возросла за счет ослабления подвижного циклогенеза во вторую половину лета над территорией Монголии. Район возникновения лесных пожаров зависит от ориентации оси высотного гребня и сопряженных высотных ложбин, а площадь лесных пожаров – от скорости ветра в средней и нижней тропосфере. При господствующих в антициклонах ветрах северной и восточной составляющей высока вероятность смещения дымовых шлейфов от лесных пожаров на южные и западные районы Сибири и Якутии, а при усилении блокирующих процессов на высотах – на арктическое побережье, что может оказать негативное влияние на экологическое состояние данных регионов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-45-380032.

Список литературы

Анализ последствий лесных пожаров в Иркутской области и эффективности мероприятий по защите населенных пунктов / В. Н. Измайлова, Р. Г. Шубкин, Е. Н. Карелин, М. А. Никулин // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 64–67.

Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. Н. Югов // Лесохоз. информ. : электронный сетевой журнал, 2020. № . 1. С. 92–113. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 03.09.2021).

Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 1 (373). С. 9–25.

Грингоф И. Г., Павлова В. Н. Влияние изменений климата на экосистемы, агроферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 384 с.

Лесные пожары в России: регионы повышенной опасности и статистика за 5 лет. URL: <https://ria.ru/20210730/pozhary-1743641457.html> (дата обращения: 15.08.2021).

Летягина Е. А., Сторожева А. Н., Дадаян Е. В. Современные проблемы государственного (правового) регулирования вопросов пожарной безопасности лесных ресурсов как основы экологического благополучия регионов // Вопросы российского и международного права. 2020. Т. 10, № 2-1. С. 25–34.

Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 15.08.2021).

Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.

Синоптические карты с фронтальным анализом. URL: <https://meteoinfo.ru/marsynop> (дата обращения: 17.08.2021).

Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров / С. А. Барталев, Ф. В. Стыценко, В. А. Егоров, Е. А. Лупян // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.

Спутниковый мониторинг лесных пожаров в XXI веке на территории Российской Федерации / Е. А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 6. С. 158–175.

Чевычелов А. П. Лесные пожары в Якутии и их влияние на почвенный покров в аспекте прогнозируемого изменения климата // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2019. № 1(13). С. 55–67.

Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems / D. T. Price [et al.] // Environmental Reviews. 2013. Vol. 21. P. 322–365.

Blokov I. Every year again: forest fires in Russia // Osteuropa: zeitschrift fuer gegenwartsfragen des ostens. 2010. Vol. 10. P. 5–16.

Fire in Forestry. Forest Fire Behavior and Effects. N.Y. / C. Chandler [et. al.]. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, 1983. Vol. 1. 450 p.

Ferreira Leite F., Bento Gonçalves A., Vieira A. The recurrence interval of forest fires in Cabeço da Vaca (Cabreira mountain-northwest of Portugal) // Environmental research, 2011. Vol. 111. P. 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.05.007>

Influence of tree species on continental differences in boreal fires and climate feedbacks / B. M. Rogers, A. J. Soja, M. L. Goulden, J. T. Randerson // Nat. Geosci., 2015. Vol. 8. P. 228–234.

López-Rodríguez G, Rodríguez-Vicente V., Marey-Pérez M. Study of forest productivity in the occurrence of forest fires in Galicia (Spain) // Sustainability, 2021. Vol. 15. P. 8472. <https://doi.org/10.3390/su13158472>

Prikhodko O. Y., Pretsiniek I. P., Soboleva E. V. Analyzing of the situation with forest fires in the Primorsky region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference “EarthScience”. 2020. P. 052077.

Reyer C. P. O., Brouwers N., Rammig A. Forest resilience and tipping points at different spa-tio'temporal scales: Approaches and challenges // Journal of Ecology. 2015. Vol. 103(1). P. 5–15.

Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet / W. Steffen [et al.] // Science. 2015. Vol. 347 (6223). P. 1259855-1–1259855-10.

Scheffer M., Hirota M., Holmgren M. III Thresholds for boreal biome transitions // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2012. Vol. 109. P. 21384–21389.

Yevdokimenko M. D. Forest-ecological consequences of fires in light conifer forests of Transbaikalia // Russian journal of ecology. Vol. 42. 2011. P. 205–210.

Circulation Factors of Fires in Siberia and the Far East in the Summer of 2019 and 2021

I. V. Latysheva, S. Z. Vologzhina, K. A. Loshchenko

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the analysis of forest fires in Siberia. Particular attention is paid to three regions: Krasnoyarsk Territory, Irkutsk Region and the Republic of Yakutia. The causes of forest fires, weather and circulation conditions were analyzed as key natural factors of a high level of fire hazard in the boreal forests of the northern regions of the Asian part of Russia using the example of the territories of the Krasnoyarsk Territory, Irkutsk Region and Yakutia. The typification of synoptic processes in the middle and lower troposphere is carried out, reflecting the prevailing contribution of blocking and mobile cyclogenesis processes to an increase in the area of distribution and the lifetime of forest fires. The long-term dynamics of temperature and humidity characteristics was estimated through the calculated values of the hydrothermal coefficient, which indicate a tendency to an increase in the probabilistic criteria of “insufficient moisture”, and in some years of weak droughts, which should be taken into account when predicting forest fires in the boreal forests of Siberia and Yakutia. A comparative analysis of the advective-dynamic factors of the occurrence of forest fires was carried out using the example of large forest fires in Siberia, starting from 1897. Particular attention is paid to the causes of the occurrence of large forest fires in the summer of 2019 and 2021.

Keywords: forest fires, boreal forests, weather, climate, circulation, blocking, anticyclones, smoke plumes, droughts, hydrothermal coefficient.

For citation: Latysheva I.V., Vologzhina S.Z., Loshchenko K.A. Circulation Factors of Fires in Siberia and the Far East in the Summer of 2019 and 2021. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 38, pp. 54-70. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.38.54> (in Russian)

References

Izmailova V.N., Shubkin R.G., Karelin E.N., Nikulin M.A. Analiz posledstvij lesnyh pozharov v Irkutskoj oblasti i effektivnosti meropriyatij po zashchite naselennyh punktov [Analysis of the consequences of forest fires in the Irkutsk region and the effectiveness of measures to protect settlements]. *Sibirskij pozharo-spatel'nyj vestnik* [Siberian Fire and Rescue Bulletin]. 2020. no. 4 (19), pp. 64-67. (in Russian)

Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N. Boreal'nye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smyagcheniya izmeneniya klimata. [Russian Boreal Forests: Opportunities

for Climate Change Mitigation]. *Lesohoz. inform* [Forestry. inform], 2020, no. 1, pp. 92-113. Available at: <http://lhi.vniilm.ru/> (date of access: 03.09.2021). (in Russian)

Volokitina A.V., Sofronova T.M., Korets M.A. Prognozirovaniye povedeniya pozharov rastitel'nosti. [Predicting the behavior of vegetation fires]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal], 2020, no. 1 (373). pp. 9-25. (in Russian)

Gringoff I.G., Pavlova V.N. *Vliyanie izmenenij klimata na ekosistemy, agrosferu i sel'skohozyajstvennoe proizvodstvo*. [The impact of climate change on ecosystems, agriculture and agricultural production]. Obninsk, FGBI "VNIIGMI-MCD", 2013, 384 p. (in Russian)

Lesnye pozhary v Rossii: regiony povyshennoj opasnosti i statistika za 5 let. [Forest fires in Russia: regions of increased danger and statistics for 5 years]. Available at: <https://ria.ru/20210730/pozhary-1743641457.html> (date of access: 08.15.2021). (in Russian)

Letyagina E.A., Storozheva A.N., Dadayan E.V. Sovremennyye problemy gosudarstvennogo (pravovogo) regulirovaniya voprosov pozharnoj bezopasnosti lesnykh resursov kak osnovy ekologicheskogo blagopoluchiya regionov. [Modern problems of state (legal) regulation of fire safety of forest resources as the basis for the ecological well-being of regions]. *Voprosy rossijskogo i mezhdunarodnogo prava* [Questions of Russian and international law], 2020, vol. 10, no. 2-1, pp. 25-34. (in Russian)

Pogoda i klimat. [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (date of access: 08.15.2021). (in Russian)

Selyaninov G.T. O sel'skohozyajstvennoj ocenke klimata. [On agricultural climate assessment]. *Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii* [Proceedings on agricultural meteorology], 1928, Iss. 20, pp. 165-177. (in Russian)

Sinopticheskie karty s frontal'nym analizom. [Synoptic charts with frontal analysis]. Available at: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (date of access: 17.08.2021). (in Russian)

Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Lupyan E.A. Sputnikovaya oценка gibeli lesov Rossii ot pozharov. [Satellite assessment of the destruction of Russian forests from fires]. *Lesovedenie* [Forestry], 2015, no. 2, pp. 83-94. (in Russian)

Lupyan E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V. et al. Sputnikovyy monitoring lesnykh pozharov v XXI veke na territorii Rossijskoj Federacii. [Satellite monitoring of forest fires in the 21st century on the territory of the Russian Federation]. *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2017, vol. 14, no. 6, pp. 158-175. (in Russian)

Chevychelov A.P. Lesnye pozhary v Yakutii i ih vliyanie na pochvennyj pokrov v aspekte prognoziruемого izmeneniya klimata. [Forest fires in Yakutia and their impact on the soil cover in the aspect of predicted climate change] *Vestnik Severo-vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of the North-Eastern Federal University. M.K. Ammosov. Series: Earth Sciences], 2019, no. 1 (13), pp. 55-67. (in Russian)

Price D.T., Alfaro R.I., Brown K.J. et al. Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems. *Environmental Reviews*, 2013, vol. 21, pp. 322-365.

Blokov I. Every year again: forest fires in Russia. *Osteuropa: zeitschrift fuer gegenwartsfragen des ostens*, 2010, vol. 10, pp. 5-16.

Chandler C., Cheney P., Thomas P., et al. *Fire in Forestry. Forest Fire Behavior and Effects*. N.Y. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, 1983, vol. 1, 450 p.

Ferreira Leite F., Bento Gonçalves A., Vieira A. The recurrence interval of forest fires in Cabeço da Vaca (Cabreira mountain-northwest of Portugal). *Environmental research*, 2011, vol. 111, pp. 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.05.007>

Rogers B.M., Soja A.J., Goulden M.L., Randerson J.T. Influence of tree species on continental differences in boreal fires and climate feedbacks. *Nat. Geosci.*, 2015, vol. 8, pp. 228-234.

López-Rodríguez G, Rodríguez-Vicente V., Marey-Pérez M. Study of forest productivity in the occurrence of forest fires in Galicia (Spain). *Sustainability*, 2021, vol. 15, p. 8472. <https://doi.org/10.3390/su13158472>

Prikhodko O.Y., Pretsiniek I.P., Soboleva E.V. Analyzing of the situation with forest fires in the Primorsky region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience"*, 2020, p. 052077.

Reyer C.P.O., Brouwers, N., Rammig A. Forest resilience and tipping points at different spa-tio-temporal scales: Approaches and challenges. *Journal of Ecology*, 2015, vol. 103, no. 1, pp. 5-15.

Steffen W., Richardson, K., Rockström J. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 2015, vol. 347 (6223), pp. 1259855-1-1259855-10.

Scheffer M., Hirota M., Holmgren M. III Thresholds for boreal biome transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, vol. 109, pp. 21384-21389.

Yevdokimenko M.D. Forest-ecological consequences of fires in light conifer forests of Transbaikalia. *Russian journal of ecology*. 2011, vol. 42, pp. 205-210.

Латышева Инна Валентиновна
кандидат географических наук,
заведующая, кафедра метеорологии
и физики околоземного космического
пространства
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: ababab1967@mail.ru

Latysheva Inna Valentinovna
Candidate of Sciences (Geography),
Head, Department of Meteorology
and Physics of Near-Earth Space
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
e-mail: ababab1967@mail.ru

Вологжина Саяна Жамсарановна
кандидат географических наук,
доцент кафедры гидрологии и
природопользования
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: svologzhina@gmail.com

Vologzhina Sayana Zhamsaranovna
Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor of the Department of
Hydrology and Environmental Management
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
e-mail: svologzhina@gmail.com

Лощенко Кристина Анатольевна
кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии и физики
околоземного космического пространства
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: loshchenko@bk.ru

Loshchenko Kristina Anatolievna
Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor of the Department
of Meteorology and Physics
of Near-Earth Space
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
e-mail: loshchenko@bk.ru

Коды научных специальностей: 25.00.36, 25.00.30

Дата поступления: 25.10.2021