

УДК 551.57

Пространственно-временная изменчивость характеристик влажности лесной подстилки и ее влияние на природные пожары на территории Западной Сибири в 2016–2021 гг.

Е.В. Харюткина[✉], Е.И. Морару*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 5.09.2022 г.;

после доработки 6.10.2022 г.;

принята к печати 27.10.2022 г.

В работе впервые для территории Западной Сибири (45–75° с.ш., 60–90° в.д.) проводится исследование пространственно-временной изменчивости характеристик влажности лесной подстилки (топлива) на основе индексов пожарной опасности Канады (CFFWIS) в 2016–2021 гг., а также оценивается ее влияние на природные пожары в регионе в теплый сезон (март – октябрь). Результаты приводятся для разных ландшафтных зон. Значимые оценки связи очагов возгораний с влажностью подстилки на глубине 18 см получены в центральной и южной частях Западной Сибири (коэффициент корреляции до 0,40). Значимые зависимости пожаров от влажности подстилки на глубине 7 см отмечаются лишь в отдельные весенние и летние месяцы на юге региона (коэффициент корреляции до 0,54). Максимальное влияние (до 0,60) влажности подстилки на возгорания отмечается на глубине 1,2 см в апреле в южных районах Западной Сибири.

Таким образом, влажность топлива важна при описании условий возникновения и развития пожаров, однако ее влияние на поведение лесных пожаров еще не до конца изучено и требует дополнительных исследований с учетом данных о метеорологических и атмосферных условиях. Полученные результаты в будущем могут быть использованы при решении задач в области прогноза потенциальной пожарной опасности.

Ключевые слова: влажность лесной подстилки, влажность почвы, природные пожары, Западная Сибирь, данные реанализа, данные спутникового зондирования; forest floor moisture, soil moisture, wildfire, Western Siberia, reanalysis data, satellite data.

Введение

Климатические изменения как в глобальном, так и в региональном масштабах могут привести к увеличению количества, площади пожаров и периода пожарной опасности, в том числе и на территории России, к концу XXI в. [1–5]. При этом на юге азиатской территории России, согласно модельным расчетам, риск возникновения пожара может возрасти в три раза в середине XXI в. по сравнению с концом XX в. [6]. Пожары способствуют увеличению содержания углекислого газа в атмосфере, что усиливает глобальное потепление [7] и вызывает недостаток увлажнения, а это в будущем может привести к опустыниванию. Из-за роста числа пожаров к концу XXI в. ожидается заметное изменение альbedo подстилающей поверхности [6]. Большую роль в формировании облачности и осадков играет дымовая аэрозоль, который покрывает огромные территории [8]. Согласно работе [9] дым лесных пожаров также оказывают существенное

влияние на величину электрического поля в приземном слое атмосферы и его динамику. Активный вертикальный тепломассоперенос в зоне обширных лесных пожаров может повлиять на синоптические процессы и привести к изменениям погодных условий [10].

В вопросе возникновения природных пожаров, наносящих серьезный урон экологии и экономике регионов, важную роль играет информация о влагосодержании почвы. Влажность топлива (горючих материалов или подстилки), наряду с осадками, температурой и влажностью воздуха, атмосферной неустойчивостью и грозовой активностью, – одних из факторов, определяющих, будет ли возникать и продолжаться пожар [11, 12].

Анализ спутниковых данных за 2002–2009 гг. показывает, что поверхностная влажность летом предыдущего года является лучшим предиктором возникновения пожаров, чем аномалии осадков или индексы пожарной погоды для лиственных лесов со сплошной вечной мерзлотой [13]. При этом в [12] отмечается, что использование метода оценки влажности по спутниковым данным приводит к значительным погрешностям на залесенных территориях.

* Елена Валерьевна Харюткина (kh_ev@mail2000.ru);
Евгения Ивановна Морару (MoraruEI@yandex.ru).

Для определения уровня потенциальной пожарной опасности в мире широко применяются различные показатели [14]. Одним из наиболее распространенных и наиболее полно учитывающих метеоусловия, в том числе и влажность лесной подстилки, является Fire Weather Index (FWI) из системы оценки лесной пожарной опасности Канады (CFFWIS) [15]. К тому же результаты прогнозирования возникновения и развития крупных лесных пожаров на территории Сибири, согласно работе [16], показали, что дневная динамика площади пожаров лучше всего описывается некоторыми индексами именно канадской системы оценки.

В рамках настоящей работы впервые для территории Западной Сибири проводится исследование пространственно-временной изменчивости характеристик влажности лесной подстилки на основе индексов пожарной опасности CFFWIS в 2016–2021 гг., а также оценивается ее влияние на природные пожары в регионе.

Исходные данные и методы исследования

Исследование проводилось в 2016–2021 гг. с марта по октябрь (теплый сезон) на территории (45–75° с.ш., 60–90° в.д.), охватывающей Западно-Сибирскую равнину и северную часть Казахстана, где расположен казахский мелкосопочник, далее Западная Сибирь (ЗС). С точки зрения разнообразия природно-климатических особенностей ЗС является уникальным регионом. На основе карты растительности, построенной по данным спутникового мониторинга Land Cover Type (MCD12Q1) (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>), регион был разделен на три широтные зоны: северная часть (65–75° с.ш.) – преимущественно зона тундры и многолетнемерзлых грунтов; центральная часть (55–65° с.ш.) – преимущественно зона, покрытая лесными массивами; южная часть (45–55° с.ш.) – степи и кустарники [17].

Пространственная и временная изменчивость влажности подстилки оценивалась по суточным данным трех компонентов влажности топлива (индексов), представленных в системе пожароопасности CFFWIS [18], из реанализа ERA5 с пространственным разрешением 0,25° × 0,25° по широте и долготе.

Далее приведем краткое описание указанных компонентов. Fine Fuel Moisture Code (FFMC) описывает содержание влаги в тонком поверхностном слое подстилки (до 1,2 см). Он рассчитывается на основе данных о температуре и относительной влажности воздуха, скорости ветра, атмосферных осадков.

Duff Moisture Code (DMC) описывает содержание влаги в верхних слоях подстилки, в которых органическое вещество начинает разлагаться (до 7 см), вычисляется из суточного количества осадков, температуры и относительной влажности воздуха во время и накануне пожарного дня.

Drought Code (DC) описывает влажность глубокого компактного и медленно высыхающего

органического вещества (до 18 см), рассчитывается на основе суточного количества осадков и температуры воздуха.

Fire Weather Index (FWI) – единый показатель пожарной опасности, который представляет собой общую информацию о погоде и влажности топлива. Он отражает изменение влажности воздуха на разных уровнях лесной подстилки, изменение скорости ветра и температуры воздуха, а также количество осадков за 24 часа [15].

Значения индексов, согласно [15], меняются в следующих диапазонах: FFMC – от 0 при максимальном влагонасыщении 250% до 101 при отсутствии влаги; DMC от 0 (при влагонасыщении 300%) до 150 (выше встречаются крайне редко); DC – от 0 при максимальном влагонасыщении 400% и, как правило, до 1000 (выше – крайне редко). FWI соответствует следующим степеням пожарной опасности [19]: 0–5 – низкая; 5,1–10 – средняя; 10,1–20 – высокая; 20,1–30 – очень высокая и более 30 – критическая.

Влажность поверхности почвы оценивалась по данным о влагонасыщении почвы из спутниковых измерений (ESA Climate Change Initiative) с временным разрешением 1 сут и с пространственным разрешением 0,25° × 0,25°.

В качестве характеристики пожаров принимались данные об активных очагах возгораний (тепловых аномалиях/hotspots) из Fire Information for Resource Management System (FIRMS) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) с пространственным разрешением 1 км² × 1 км², и временным разрешением 1 день (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>).

Количество пожаров (тепловых аномалий) за исследуемый период рассчитывалось в каждой ячейке 0,25° × 0,25° по долготе и широте, а затем для каждой рассматриваемой природной зоны на территории Западной Сибири.

Связь тепловых аномалий и влажности подстилки оценивалась с помощью линейного коэффициента корреляции Пирсона по уровню значимости $\alpha = 0,05$ [20]. Максимальное количество значений во временных рядах за теплый сезон 2016–2021 гг. составляет 186, так как в расчетах используются суточные значения. При этом количество значений в рядах может быть и меньше, поскольку учитываются только дни, в которые наблюдался пожар.

Результаты

Анализ сезонной и межгодовой изменчивости индексов пожароопасности, характеризующих влажность лесной подстилки на различных глубинах (рис. 1), в разных природных зонах Западной Сибири показал, что особенно ярко сезонный ход выражен у индексов DC и DMC (рис. 1, а и б), т.е. в более глубоких слоях лесной подстилки. При этом для DC наблюдается увеличение значений от весенних месяцев к осенним, а для DMC такой ход характерен только на юге территории, тогда как в остальных районах максимум приходится

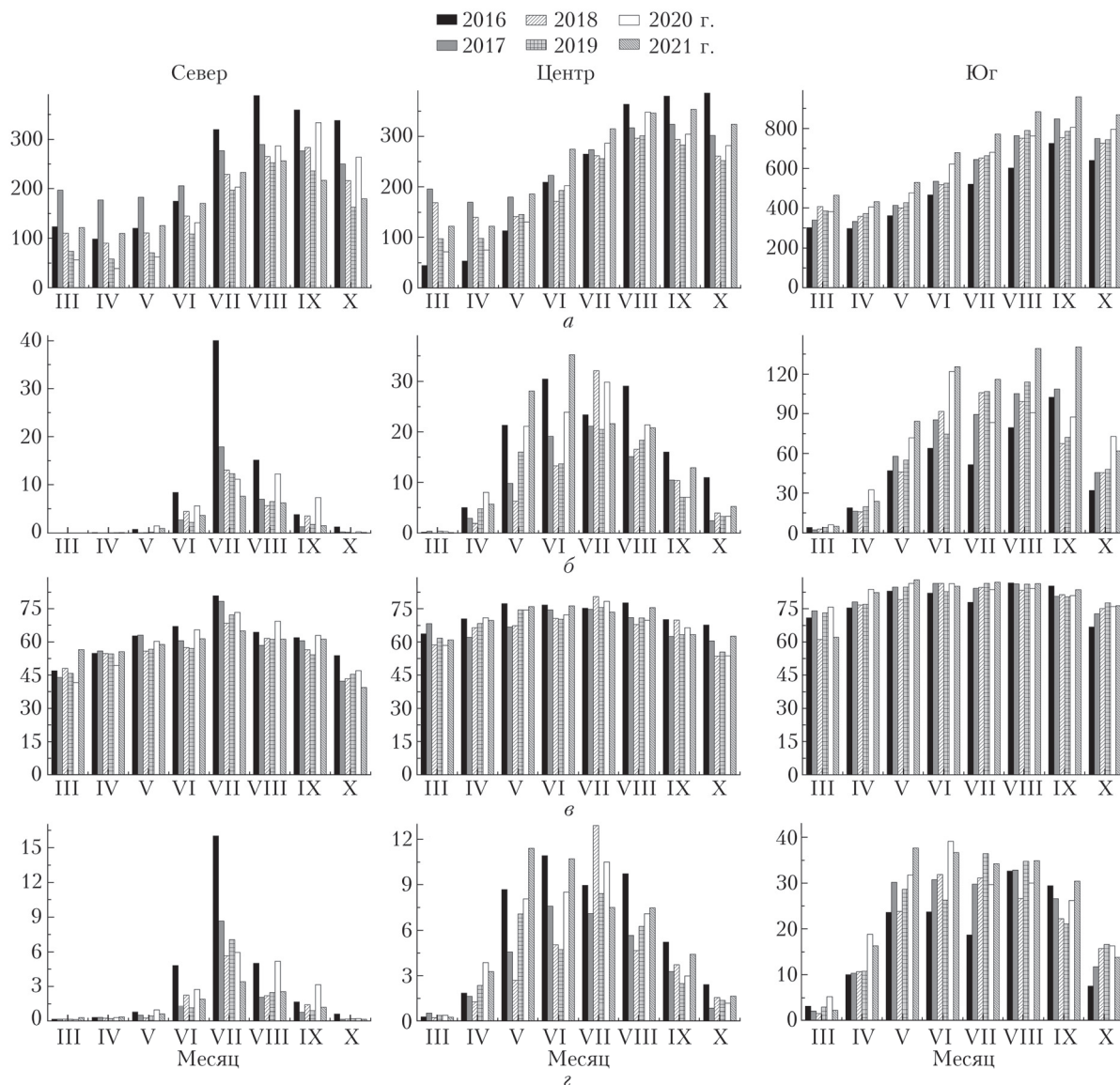


Рис. 1. Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений индексов влажности подстилки в широтных зонах Западной Сибири: DC (а), DMC (б), FFMC (в), FWI (г)

на летние месяцы. Максимум DC ($\sim 700 \div 900$) наблюдался в сентябре, а DMC ($\sim 70 \div 130$) – в августе и сентябре 2021 г. на юге региона. В северной части максимумы обоих параметров приходятся на июль 2016 г., так же как и максимум FFMC ($\sim 75 \div 80$). При этом стоит отметить, что именно на севере сезонный ход FFMC (в слое до 1,2 см) в летние месяцы проявляется наиболее отчетливо (рис. 1, в).

Что касается индекса пожароопасности FWI, то его наибольшие значения наблюдаются летом, при этом на юге территории максимум приходится на июнь ($\sim 25 \div 45$) в 2020 и 2021 гг. и смещается на июль в центральной и северной частях ЗС в 2018 и в 2016 г. соответственно.

Стоит отметить, что в центральной части ЗС DC и DMC втрое меньше, чем в южной части региона (рис. 1, а, б). Малые значения DC и DMC связаны с пространственным распределением ко-

личества пожаров – увеличением с севера на юг, как показано в [17, 21]. При этом выявленные особенности в изменении влажности верхних слоев подстилки (до 7 см) за 2016–2021 гг. указывают на то, что в северной части территории сохранялась тенденция к формированию засушливых условий и, следовательно, высокая степень пожароопасности в июле 2016 г., отмеченная в [8], что также подтверждается высокими значениями FWI.

Из рис. 2 видно, что в июле в 2016–2021 гг. в целом прослеживается уменьшение влажности почвы с юго-запада на северо-восток ЗС, что согласуется с пространственным распределением количества лесных пожаров, о котором упоминалось выше [16].

В пространственном распределении влагосыщения почвы наблюдается обратная ситуация: ее увеличение с юго-запада ($10 \div 15\%$) на северо-восток ($80 \div 90\%$) региона (рис. 2, д). Это вполне

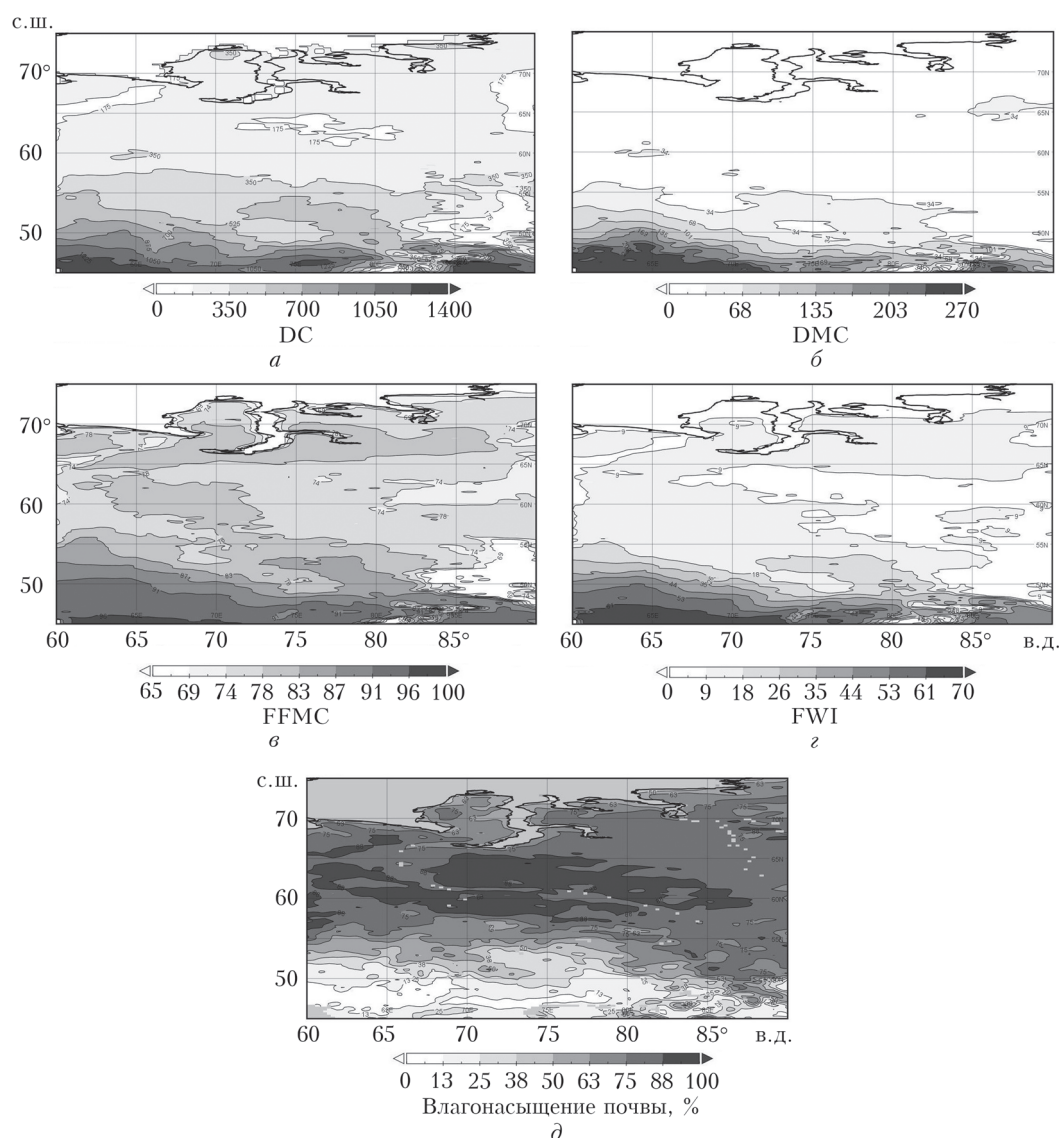


Рис. 2. Пространственное распределение средних значений характеристик влажности подстилки и почвы в июле на территории Западной Сибири в период 2016–2021 гг.: DC (а), DMC (б), FFMC (в), FWI (г), влагонасыщение почвы (д)

закономерно, поскольку обусловлено различиями в природных условиях, топографии и типах почв региона Западной Сибири. К тому же влагонасыщение почвы в теплый сезон может повышаться из-за увеличения глубины слоя сезонного протаивания многолетнемерзлых пород и значимого увеличения температуры почвы в весенне-летний период в начале XXI в. [22, 23].

Далее проводился сравнительный анализ характеристик влажности лесной подстилки и активных очагов возгораний (данные о тепловых аномалиях) (рис. 3). Из анализа рис. 3, на котором приведены зависимости исследуемых параметров в теплый сезон, следует, что наибольший статистически значимый ($\alpha = 0,05$) коэффициент корреляции ($r = 0,47$) наблюдается между индексом FFMC и очагами возгораний в южной части ЗС (рис. 3, в), а также между индексом DC и очагами возгораний в центральной части ЗС

($r = 0,40$) (рис. 3, б). При этом без учета аномальных периодов r возрастает до $-0,22$ только в северных районах, а в южной части уменьшается и даже меняет знак ($-0,11$).

Полученные оценки коэффициента корреляции очагов возгораний с DMC в теплый сезон оказались статистически незначимы, в то время как для некоторых месяцев значимые связи все-таки установлены (таблица). На севере значимые оценки ($r = 0,31$) отмечаются только в апреле, тогда как на территориях южнее 65° с.ш. в марте-апреле значения r изменяются от $0,27$ до $0,54$, а в июне-июле — от $0,21$ до $0,30$. Максимальные значения коэффициента корреляции ($r = 0,60$) очагов возгорания с FFMC отмечаются в апреле на юге ЗС.

Согласно [15, 24] по изменениям FFMC и DMC можно судить об источнике возгорания (антропогенный и природный соответственно). В связи

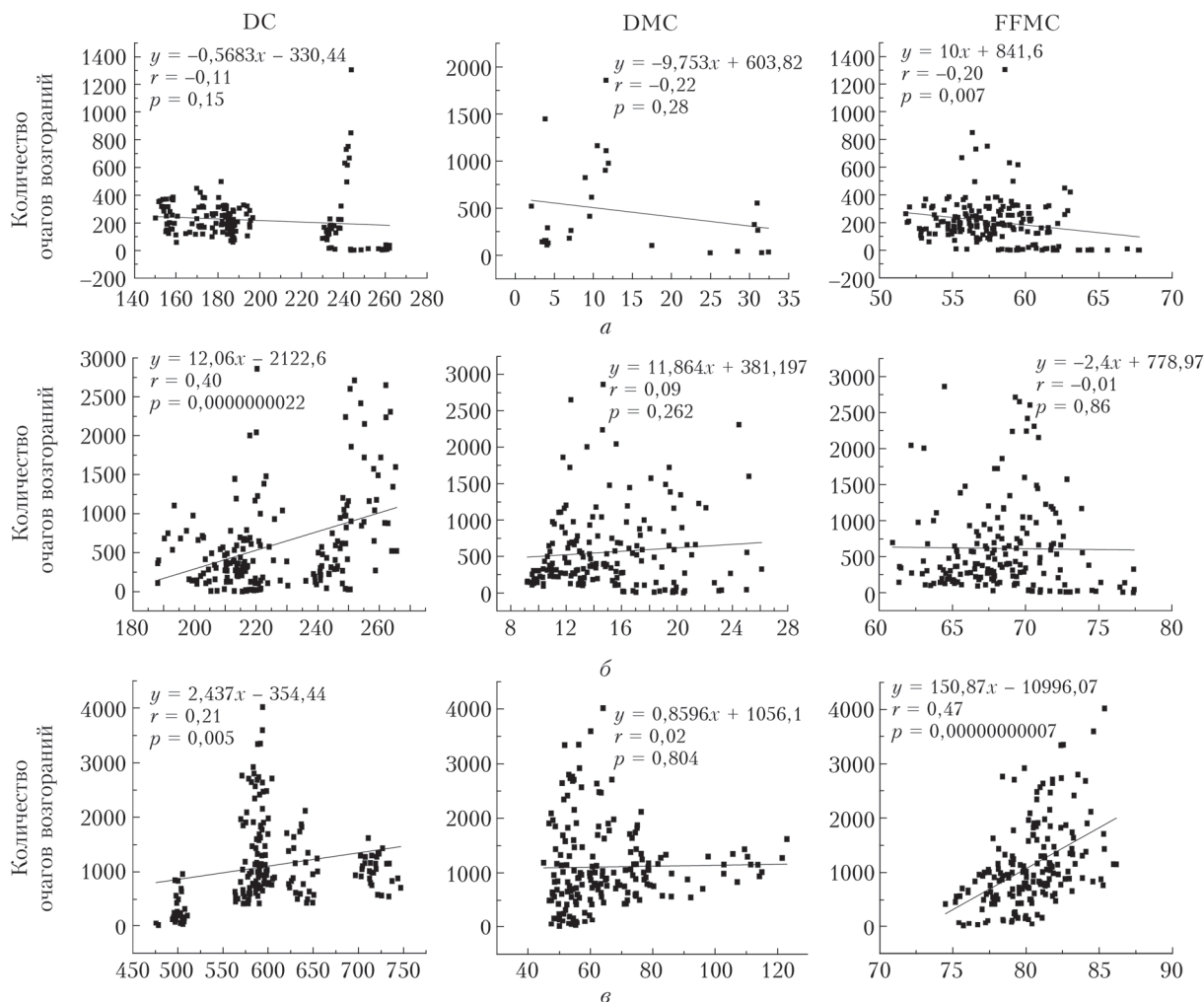


Рис. 3. Зависимость между количеством очагов возгораний (сумма за сутки) и значениями характеристик влажности подстилки (средние за сутки) в Западной Сибири за теплый сезон 2016–2021 гг.: северная (а), центральная (б), южная части (в); p – уровень значимости

Коэффициенты корреляции между количеством очагов возгораний (сумма за сутки) и значениями характеристик влажности подстилки (средние за сутки) на территории Западной Сибири в теплый сезон 2016–2021 гг.

Зона ЗС	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Теплый сезон
DC									
Север	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Центр	–	–	–	–	–	–	–	–	0,40
Юг	–	0,17	–	0,22	–	–	–	–	0,21
DMC									
Север	–	0,31	–	–	–	–	–	–	–
Центр	0,44	0,53	–	0,21	0,30	–	–	–	–
Юг	0,54	0,27	–	0,28	–	–	–	–	–
FFMC									
Север	–	–	–	0,38	–	–	–	–	–0,20
Центр	–	0,34	–	–	–	–	–	–	–
Юг	–	0,60	–	0,26	–	–	–	–	0,47

Примечание. Приведены только статистически значимые оценки коэффициентов корреляции ($\alpha = 0,05$). В последнем столбце приведена средняя оценка за все месяцы.

с этим выявленные особенности можно объяснить следующим образом: повышенные значения FFMC (так же, как и значения r для этого индекса) на юге региона могут быть связаны с антропо-

генным фактором (высокая плотность населения и сельскохозяйственная деятельность), а максимум DMC в июле 2016 г. на севере ЗС обусловлен повышенной (по сравнению с югом территории) ве-

роятностью возгораний от молний [16]. К тому же повышенная пожароопасность может быть обусловлена низким количеством атмосферных осадков с апреля по июль [25].

Стоит отметить, что в северной части ЗС возгорания из-за молний возникают чаще, чем по вине человека [26]. Это можно объяснить, как правило, суровостью климата, небольшой плотностью населения и отсутствием равномерной измерительной сети. Поэтому вопрос о заблаговременном прогнозе возгораний от молний, обнаружении и ликвидации пожара становится особенно актуальным.

В работе [21] для территории Сибири отмечается, что влияние влажности почвы на возникновение и развитие пожара происходит нелинейно. Влажность почвы ограничивает площадь выгоревшего участка, при этом возгорание чаще всего происходит в условиях низкой влажности. В [27] для Средиземноморья показано, что во время пожаров увеличение DC происходит в основном при отсутствии осадков и высокой скорости ветра (press drought), а DMC – при воздействии преимущественно термического фактора (hot droughts), т.е. оказывают влияние длительные и интенсивные засушливые периоды.

Полученные в настоящей статье выводы основаны на данных реанализа с высоким пространственным разрешением, что позволяет получить оценки влажности подстилки в узлах регулярной сетки для большой территории. Величины их связи с характеристиками пожаров в основном невысоки и статистически значимы лишь в отдельные месяцы, что согласуется с оценками в [8, 16]. Однако стоит отметить, что в будущем, чтобы уточнить полученные в работе выводы, необходимо привлечение дополнительных источников информации о пожарах (например, данные спутникового зондирования о площади выгорания), так как используемые в статье данные о тепловых аномалиях не всегда указывают на реальное возгорание, а могут указывать на объекты промышленности (например, нефтяные вышки). Также необходимо учитывать и время тления, потому что возгорание может быть либо мгновенно распространяющимся поверхностным пожаром, либо, что более вероятно в лесной зоне Сибири, тлеющим пожаром в подстилке [28].

Таким образом, полученные выводы представляют собой предварительные результаты о связи очагов возгорания и влажности подстилки в разных природных зонах Западной Сибири. Более детальное описание характеристик влажности, а также причин возникновения пожаров (природный или антропогенный фактор) возможно только при комплексном исследовании грозовой активности и метеорологических условий (температура и относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, скорость ветра, атмосферная неустойчивость) до и во время развития пожара.

Заключение

В работе проведено исследование пространственно-временной изменчивости характеристик влаж-

ности лесной подстилки, а также получена оценка ее влияния на возникновение возгораний на территории Западной Сибири в 2016–2021 гг.

Установлено, что особенно ярко сезонный ход влажности выражен в более глубоких слоях лесной подстилки. При этом максимум индекса DC, описывающего содержание влаги в подстилке на глубине 18 см, наблюдается в сентябре, а DMC, характеризующего содержание влаги в слое подстилки до 7 см, – в августе и сентябре 2021 г. на юге региона. В северной части Западной Сибири максимумы всех параметров влажности подстилки (что говорит о формировании засушливых условий) приходится на июль 2016 г. В целом за теплый сезон значимые оценки связи возгораний получены с DC в центральной и южных частях региона (r до 0,40). Значимые зависимости возгораний от DMC отмечаются лишь в отдельные весенние и летние месяцы (r до 0,54). Максимальное влияние ($r = 0,60$) влажности подстилки на возгорания отмечается на глубине 1,2 см (FFMC) в апреле в южных районах Западной Сибири.

Несмотря на то что в засушливых условиях частота и интенсивность лесных пожаров возрастают, остается еще много вопросов относительно того, как влажность подстилки влияет на возникновение и развитие пожаров. Она имеет важное значение при описании условий возникновения и развития природных пожаров (в частности, вызванных ударом молнии), однако одних только «благоприятных» условий влажности подстилки недостаточно для их возникновения. На фоне быстрых климатических изменений меняются и региональные особенности атмосферных процессов. Поэтому в дальнейшем необходимо также учитывать метеорологические и атмосферные условия до и во время возникновения и развития пожара. Полученные результаты в будущем могут быть использованы при решении задач в области прогноза потенциальной пожарной опасности.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам ИМКЭС СО РАН в.н.с С.В. Логинову и н.с. К.Н. Пустовалову за помощь в обработке исходных данных.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РФФ (проект № 22-27-00494).

Список литературы

1. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Оценки тенденций усилий лесных пожаров в России до конца XXI в. По данным сценарных экспериментов климатических моделей пятого поколения // Метеорол. и гидрол. 2014. № 5. С. 17–30.
2. Forkel M., Dorigo W., Lasslop G., Chuvieco E., Hantson S., Heil A., Teubner I., Thonicke K., Harrison S.P. Recent global and regional trends in burned area and their compensating environmental controls // Environ. Res. Commun. 2019. P. 051005.
3. Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В. Современные тенденции изменения температуры пограничного слоя атмосферы Сибирского региона // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 1. С. 42–50. DOI: 10.15372/AOO20220107.

4. Харюткина Е.В., Логинов С.В., Морару Е.И., Пустовалов К.Н., Мартынова Ю.В. Динамика характеристик экстремальности климата и тенденции опасных метеорологических явлений на территории Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2022. Т. 2, № 32. С. 136–142.
5. Малевский-Малевиц С.П. Анализ изменения пожароопасной обстановки в лесах России в XX и XXI веках на основе моделирования климатических условий // Метеорол. и гидрол. 2007. № 3. С. 14–24.
6. Мохов И.И., Чернокульский А.В. Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменении климата // Геогр. и прир. ресурсы. 2010. № 2. С. 120–126.
7. Щеглова Е.Г. О влиянии погодных условий на пожары природных объектов // Вестн. ОГУ. 2013. № 1. С. 166–170.
8. Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Карнов А.В., Горчакова И.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Крупномасштабные дымки Евразии летом 2016 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2019. Т. 55, № 3. С. 41–51.
9. Пхалгаев Ю.А., Ужegov В.Н., Панченко М.В., Ипполитов И.И. Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога // Оптика атмосфер. и океана. 2006. Т. 19, № 10. С. 861–864.
10. Курсанов А.А. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере при лесных пожарах: Автореф. дис... канд. геогр. наук. М.: ФГБУ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», 2015. 23 с.
11. Школьник И.М., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д., Хлебникова Е.И., Салы И.А. Экстремальность термического режима в Сибири и динамика пожароопасной обстановки в XXI веке: оценки с помощью региональной климатической модели ГГО // Метеорол. и гидрол. 2008. № 3. С. 5–15.
12. Badmaev N., Bazarov A. Correlation analysis of terrestrial and satellite meteorological data in the territory of the Republic of Buryatia (Eastern Siberia, Russian Federation) with forest fire statistics // Agricult. Forest Meteorol. 2021. N 297. P. 108245.
13. Forkel M., Thonicke K., Beer C., Cramer W., Bartalev W., Schmullius C. Extreme fire events are related to previous-year surface moisture conditions in permafrost-underlain larch forests of Siberia // Environ. Res. Lett. 2012. V. 7. P. 044021.
14. Groisman P.Y., Sherstyukov B.G., Razuvaev V.N., Knight R.W., Enloe J.G., Stroumentova N.S., Whitfield P.H., Furland E.J., Hanssen-Bauer I., Tuomenvirta H., Aleksandersson H., Mescherskaya A.V., Karl T.R. Potential forest fire danger over Northern Eurasia: Changes during the 20th century // Glob. Planet. Change. 2007. V. 56, N 3–4. P. 371–386.
15. Wotton B.M. Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications // Environ. Ecol. Stat. 2009. V. 16. P. 107–131.
16. Рубцов А.В., Сухинин А.И., Ваганов Е.А. Системный анализ погодной пожарной опасности при прогнозировании крупных пожаров в лесах Сибири // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 3. С. 62–70.
17. Kharyutkina E., Pustovalov K., Moraru E., Nepochurenko O. Analysis of spatio-temporal variability of lightning activity and wildfires in Western Siberia during 2016–2021 // Atmosphere. 2022. V. 13, N 669. P. 1–16.
18. Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. Canadian Forestry Service, Ottawa, ON, Canada: National Capital Region, 1987. 37 p.
19. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347.
20. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 1. М.: МРИ, 1971. 320 с.
21. Bartsch A., Balzter H., George C. The influence of regional surface soil moisture anomalies on forest fires in Siberia observed from satellites // Environ. Res. Lett. 2009. N 4. DOI 10.1088/1748-9326/4/4/045021.
22. Шерстюков А.Б. Температура почвогрунтов России на глубинах до 320 см в условиях изменяющегося климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 72–88.
23. Харюткина Е.В., Логинов С.В. Тенденции временных изменений температуры почвы на глубинах в Западной Сибири по данным реанализа // Геогр. и прир. ресурсы. 2019. № 2. С. 95–102.
24. Dowdy A.J., Mills G.A. Atmospheric states associated with the ignition of lightning-attributed fires. Melbourne: Centre for Australian Weather and Climate Research, 2009. N. 19. 35 p.
25. Jupp T.E., Taylor C.M., Balzter H., George C.T. A statistical model linking Siberian forest fire scars with early summer rainfall anomalies // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, N L14701. DOI:10.1029/2006GL026679.
26. Елисеев А.В., Мохов И.И., Чернокульский А.В. Влияние молниевой активности и антропогенных факторов на крупномасштабные характеристики природных пожаров // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2017. Т. 53, № 1. С. 3–14.
27. Ruffault J., Curt T., Martin-StPaul N.K., Moron V., Trigo R.M. Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2018. V. 18. P. 847–856.
28. Peterson D., Wang J., Ichoku C., Remer L.A. Effects of lightning and other meteorological factors on fire activity in the North American boreal forest: Implications for fire weather forecasting // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 6873–6888.

E.V. Kharyutkina, E.I. Moraru. Spatial and temporal variability of forest floor moisture characteristics and their influence on wildfires in Western Siberia over 2016–2021.

The spatial and temporal variability of forest floor moisture characteristics is analyzed on the basis of the Canadian Fire Forest Weather Indices (CFFWIS) for the territory of Western Siberia (45–75° N, 60–90° E) over 2016–2021 for the first time. The floor moisture effect on the number of wildfires (hotspots) during the warm season (March–October) is assessed. The results are given for different natural zones. Statistically significant correlations are found between hotspots and floor moisture at a depth of 7 cm only in some spring and summer months (correlation coefficient is up to 0.54). The strongest effect (correlation coefficient is up to 0.60) on wildfires is observed for floor moisture at a depth of 1.2 cm in the south of Western Siberia in April. Thus, it can be concluded that the forest floor moisture is an important parameter in description of conditions for fire initiation and development. However, the question about its effect on the wildfire behavior remains open and requires additional research accounting meteorological and atmospheric conditions. The results can be used in future for solving problems of forecasting the potential fire danger.