

Использование метеорологических данных ВЕГА-Science для изучения различий в возникновении пожарной опасности в аридных и гумидных ландшафтах Байкальского региона

Р. С. Сычев^{1,3}, А. В. Базаров¹, Н. Б. Бадмаев²

¹ *Институт физического материаловедения СО РАН
Улан-Удэ, 670047, Россия
E-mail: alebazaro@gmail.com*

² *Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
Улан-Удэ, 670047, Россия
E-mail: nima_b@mail.ru*

³ *Федеральное агентство лесного хозяйства «Рослесинфорг»,
Бурятский филиал, Улан-Удэ, 670013, Россия
E-mail: roman1594@mail.ru*

В статье использованы ряды метеорологических данных спутникового информационного сервиса ВЕГА-Science. В качестве информации по пожарам использованы данные Федерального агентства лесного хозяйства по Республике Бурятия, которые представляют собой численные временные ряды ежегодных показателей по количеству и площади пожаров по лесничествам республики с 2001 по 2018 г. Проведён корреляционный анализ в двух контрастных по климатическим условиям ландшафтах Восточного Прибайкалья и Селенгинского среднегорья с целью оценки количественной связи метеопараметров с частотой и площадью пожаров. Контрастными по показателям атмосферного климата являются гумидное Байкальское лесничество и аридное Иволгинское лесничество. Гумидным (влажным) считается климат, в котором атмосферные осадки преобладают над испаряемостью; в аридном (сухом) климате величина испаряемости значительно превышает атмосферные осадки. Гумидное Байкальское лесничество находится на побережье оз. Байкал (Восточное Прибайкалье), Иволгинское лесничество располагается в центральной части Селенгинского среднегорья и является типичным для аридных экосистем. Выявлена заметная корреляция между показателями пожаров и влажностью почвы.

Ключевые слова: метеорологические спутниковые данные ВЕГА-Science, лесные пожары, корреляционный анализ, гумидный климат, аридный климат

Одобрена к печати: 23.04.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-127-134

Введение

Лесной пожар — это стихийное, неконтролируемое распространение огня по лесным площадям. В последнее время произошёл всплеск чрезвычайно разрушительных пожаров с соответствующими социальными потрясениями и значительными экономическими затратами. Несмотря на то что лесные пожары в основном возникают в результате антропогенной деятельности, метеорологические факторы играют важную роль в динамике пожара. Большинство оперативных систем оценки пожарной опасности основаны на метеорологических данных, поступающих от метеорологических станций (Ходаков, Жарикова, 2011).

В 1949 г. был разработан комплексный метеорологический показатель (критерий) пожарной опасности В.Г. Нестерова (КПО), который базировался на таких метеорологических данных, как температура, точка росы и осадки (Вонский, Жданко, 1976; Нестеров, 1961). Основным недостатком КПО является весьма грубая поправка на осадки (Губенко, Рубинштейн, 2012).

С 1979 г. введён показатель влажности надпочвенного покрова (ПВ-1) с дифференцированными поправками на осадки, а также показатель влажности лесной подстилки (ПВ-2) (Вонский и др., 1979). Показатели ПВ-1 и ПВ-2 разработаны на основе экспериментальных

исследований изменений послойной влажности лесных горючих материалов (ЛГМ) в зависимости от метеорологических факторов, обуславливающих эти изменения. Факторами, определяющими увлажнение ЛГМ, были признаны осадки (мм), а также испарения влаги — величина $t(t - \tau)$, где t — температура воздуха, τ — дефицит точки росы, по замерам в дневные часы.

В 1990 г. критерий пожарной опасности был модифицирован с поправкой на гигроскопичность мхов, лишайников, опада и других ЛГМ (Софронов и др., 2004). Усовершенствованный индекс получил название «показатель влажности с учётом гигроскопичности» (ПВГ).

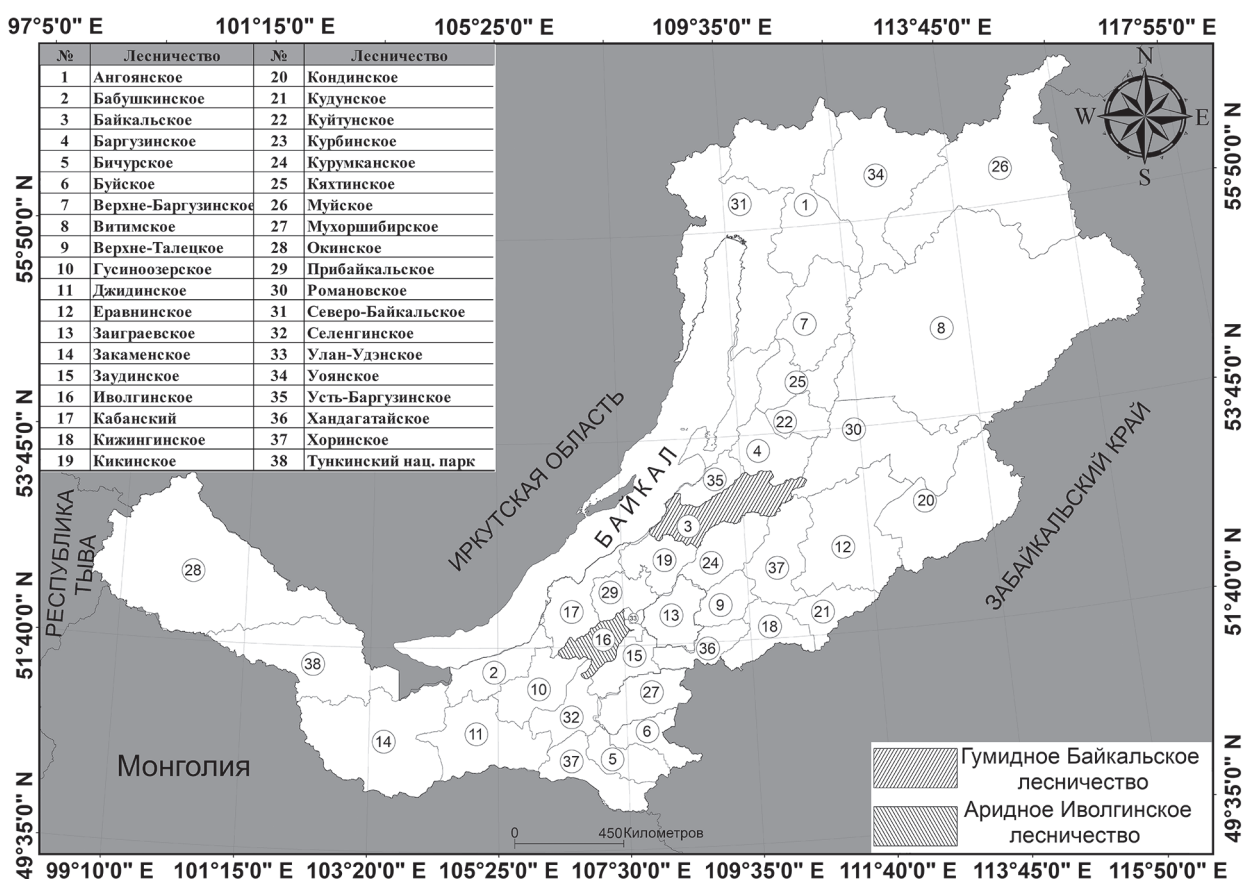
Из вышеизложенного видно, что в рассмотренных показателях лесной пожарной опасности в качестве входных параметров используются только метеопараметры, а влажность лесных горючих материалов определяется исходя из этих показателей и табличных данных свойств ЛГМ. Между тем, хотя влажность лесного топлива определяется в первую очередь воздействием осадков, процесс высыхания ЛГМ должен также зависеть от влажности подстилающей почвы. Согласно работе (Губенко, Рубинштейн, 2012), индекс лесной пожарной опасности Мак-Артура (А. McArthur, Австралия) (ИЛПО, *англ.* Forest Fire Danger Index — FFDI) — единственный индекс, оценивающий влагосодержание в почве. Композиция ИЛПО основана на температуре воздуха, скорости ветра, относительной влажности и компоненте под названием «фактор засухи» (*англ.* drought factor — DF), использующей численную оценку дефицита влаги в почве (*англ.* soil moisture deficit — SMD), которая, в свою очередь, опирается на измерения осадков, стока, транспирации с купола и испарения из почвы, а также на тип почвы, тип растительности, рельеф местности (Holgate et al., 2017). Также с развитием технологий дистанционного зондирования этот источник данных рассматривается и для определения влагосодержания в почве (Dharssi, Kumar, 2015; Holgate et al., 2017). Тем не менее катастрофические пожары ряда последних лет на территории Австралии свидетельствуют, что работа в данном направлении далека от своего завершения.

В настоящей работе на примере двух лесничеств рассматривается теснота связи между имеющейся у нас информацией о количестве и площади пожаров по лесничествам Республики Бурятия с метеорологическими рядами данных информационного ресурса ВЕГА-Science, включая данные по температуре и влажности почвы. Надо сказать, что в Байкальском регионе проблеме охраны лесов от пожаров уделяется особое внимание (Белякин, Волокитина, 2010; Евдокименко, 2013; Макаренко, 2016; Украинцев, Плюснин, 2015), но далеко не достаточное (Доржиев и др., 2017), и с этой точки зрения работы не проводились.

Материалы и методы

Территория Республики Бурятия входит в горную систему, характеризующуюся мощными горными хребтами и обширными, глубокими и иногда почти замкнутыми межгорными котловинами. Озеро Байкал, объём водной массы которого составляет 23 615,39 км³, а также горно-котловинный рельеф обусловили своеобразный и по-своему уникальный климат, где по соседству могут находиться климатически достаточно сильно контрастные ландшафты. Такими контрастными являются гумидное Байкальское лесничество и аридное Иволгинское лесничество (*рисунок*, см. с. 129), на территориях которых расположены научные стационары наших институтов. Байкальское лесничество находится на побережье оз. Байкал (Восточное Прибайкалье), Иволгинское лесничество располагается в центральной части Селенгинского среднегорья и является типичным для аридных экосистем. Между Иволгинским лесничеством и оз. Байкал расположен горный хребет Хамар-Дабан, средняя высота которого колеблется в пределах 1400–2000 м.

В качестве информации по пожарам использованы данные Федерального агентства лесного хозяйства по Республике Бурятия, которые представляют собой численные временные ряды ежегодных показателей по количеству и площади пожаров по лесничествам республики с 2001 по 2018 г.



Карта лесничеств Республики Бурятия

Источниками метеорологических параметров служат спутниковые данные информационного сервиса ВЕГА-Science. Основу ВЕГА-Science составляют многолетние разработки Института космических исследований Российской академии наук (отдел технологий спутникового мониторинга) в области автоматизированных методов и технологий сбора, обработки и распространения спутниковых данных (Лупян и др., 2014). ВЕГА-Science — информационный сервис для профессиональной работы с архивами спутниковых данных, обновляемыми в режиме, близком к реальному времени, и другой геопространственной информацией, обеспечивающий решение широкого круга задач. По любому району территории России в архивах имеются ежедневно обновляемые данные с начала XXI в. по настоящее время. В основе сервиса лежит полностью автоматическая обработка получаемых спутниковых данных, что позволяет ежедневно осуществлять обновление информации. В наборе данных сервиса имеется информация о температуре и влажности почвы по интересующей территории, которая отсутствует в данных наземных метеостанций. Метеорологические данные представлены с 2000 г.

В качестве метеорологических параметров в настоящей работе используются следующие данные сервиса ВЕГА-Science: температура воздуха, атмосферные осадки, уровень снега, температура и влажность почвы в десятисантиметровом слое в пределах полей, отрисованных по границам, ограничивающим соответствующее лесничество. Для анализа были отобраны данные за 12:00 (в системе ВЕГА-Science за каждые сутки данные представлены для 00:00, 06:00, 12:00, 18:00), из которых была проведена выборка максимальных значений за месяц (для осадков — суммы за месяц, для снега — медианных за месяц, для влажности почвы — средних за месяц). Для этого были использованы возможности создания полей в разделе «По карте» и инструменты построения рядов данных раздела «Список полей».

Таким образом, в работе используются три набора данных: годовые данные лесных пожаров по лесничествам — количество и площадь, а также спутниковые метеоданные ВЕГА-Science. Собранные данные подготовлены для определения тесноты связи между

временными рядами месячных метеорологических параметров и рядами годовых показателей количества и площади пожаров в выбранных лесничествах.

Примем во внимание, что даже при самых благоприятных для горения метеоусловиях пожара может не случиться из-за отсутствия источника воспламенения. В то же время пожар может возникнуть и при отсутствии подходящих метеоусловий по причине человеческого фактора. Поэтому с учётом данных соображений для настоящей работы принимается следующее: значимость количественной меры тесноты связи (R) будет начинаться от «средней (умеренной)» ($>0,3$) и выше по шкале Чеддока (табл. 1) (Chaddock, 1925).

Таблица 1. Шкала Чеддока

Коэффициент корреляции	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0
Характеристика силы связи	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая
		Средняя		Сильная	

Предполагается также, что при оценке зависимости от температуры значимой будет положительная корреляция, а от осадков (снега) — отрицательная, т.е. если количество осадков уменьшается, то количество лесных пожаров увеличивается, и наоборот (Обязов, 2012). Сравниваются пары: метеопараметр за каждый месяц года с показателем количества или площади пожаров за тот же год. Таким образом, определяется, какие предшествующие погодные факторы из рассматриваемых оказывают влияние на количество и площадь пожаров на изучаемых территориях.

Результаты и обсуждения

Таблица 2. Значимость тесноты связи между метеоданными и пожарами

Лесничество (показатель пожара)	Коэффициент корреляции (R)				
	Температура воздуха, °С	Осадки текущего года	Температура почвы, °С	Влажность почвы	Уровень снега
	Табличный показатель критерия Стьюдента ($t_{\text{эксп}}$) при $\alpha = 0,05$				
	2,12	2,12	2,20	2,20	2,20
Байкальское (количество пожаров)	0,3/ _{1,33} ^(февр.) 0,4/ _{1,92} ^(дек.)	-0,7/ _{4,01} ^(май) -0,6/ _{3,32} ^(июнь)	0,4/ _{1,42} ^(январ.) 0,5/ _{1,94} ^(февр.) 0,4/ _{1,59} ^(март)	-0,5/ _{1,00} ^(май) -0,6/ _{2,25} ^(июнь)	-0,3/ _{1,03} ^(сент.)
Байкальское (площадь пожаров)	0,3/ _{1,49} ^(январ.) 0,5/ _{2,26} ^(авг.) 0,3/ _{1,28} ^(дек.)	-0,4/ _{1,52} ^(май) -0,3/ _{1,47} ^(окт.)	0,5/ _{1,74} ^(авг.)	-0,5/ _{1,83} ^(май)	—
Иволгинское (количество пожаров)	0,4/ _{1,77} ^(апр.)	-0,5/ _{2,16} ^(февр.) -0,4/ _{1,69} ^(июль) -0,4/ _{1,98} ^(сент.)	0,3/ _{1,17} ^(апр.)	-0,3/ _{1,16} ^(апр.) -0,3/ _{0,94} ^(июль) -0,3/ _{0,95} ^(сент.)	-0,4/ _{1,41} ^(дек.) -0,3/ _{1,17} ^(январ.) -0,3/ _{0,94} ^(февр.) -0,4/ _{1,29} ^(март) -0,3/ _{0,88} ^(апр.)
Иволгинское (площадь пожаров)	0,4/ _{1,44} ^(март) 0,4/ _{1,73} ^(апр.)	-0,3/ _{1,32} ^(январ.) -0,4/ _{1,53} ^(февр.) -0,3/ _{1,40} ^(апр.)	0,3/ _{1,12} ^(апр.)	-0,4/ _{1,44} ^(апр.)	-0,4/ _{1,13} ^(дек.) -0,3/ _{1,01} ^(январ.) -0,3/ _{1,12} ^(февр.) -0,4/ _{1,42} ^(март) -0,4/ _{1,29} ^(апр.)

Данные во всех наборах имеют нормальное распределение, поэтому для оценки тесноты связи использовался коэффициент корреляции (R) Пирсона. В табл. 2 представлены только

значения для $R \geq 3$, в скобках указан месяц, на который он пришёлся. Через косую черту приведено значение $t_{\text{экс}} — критерия$ Стьюдента для оценки этого R . В нашем случае величина выборок для температуры воздуха и осадков n равна $18(13) \ll 100$, поэтому пусть уровень значимости α равен $0,05$ и для $n - 2 = 16$ степеней свободы $t_{\text{табл}} = 2,12$. Таким образом, если $t_{\text{экс}} > 2,12$, то данное значение R признаётся значимым. Для температуры, влажности почвы и уровня снега $n = 13$ (ряды данных с 2006 г.), поэтому $t_{\text{табл}} = 2,20$.

Анализ данных показывает, что значимая теснота связи между метеоданными и пожарами выявлена в основном в Байкальском лесничестве. Для них характерна средняя теснота связи между количеством пожаров и осадками ($-0,6$ и $-0,7$), площадью пожаров и температурой воздуха ($0,5$). Также видно, что на возникновение и распространение пожаров имеет заметное влияние влажность почв ($0,6$). Для аридного Иволгинского лесничества Селенгинского среднегорья значимой теснотой связи между метеоданными и пожарами являются только осадки ($0,5$).

Заключение

Проведён корреляционный анализ в контрастных по климатическим условиям лесничествах Восточного Прибайкалья и Селенгинского среднегорья с целью оценки количественной связи между метеопараметрами с частотой и площадью пожаров. Результаты анализа показывают, что в большинстве случаев значимыми для пожаров являются температура воздуха и осадки. Выявлено, что влажность почвы оказывает заметное влияние на показатели пожаров.

Помимо спутниковых данных информацию о почвенной влажности для этих целей может дать *in situ* атмосферно-почвенный измерительный комплекс (Базаров и др., 2016, 2018), сеть которого в настоящее время функционирует для мониторинга динамики многолетней мерзлоты в Бурятии (Badmaev, Vazarov, 2018). Наземные данные, собираемые в режиме реального времени, могут позволить разрабатывать методы обработки данных дистанционного зондирования (Блохин и др., 2019), обеспечивающие получение калиброванной и верифицированной информации о влажности почвы.

Россия с 2001 по 2018 г. потеряла $60,4$ млн га, или $7,9\%$, древесного покрова (Global Forest Watch, <http://www.globalforestwatch.org>), при этом около 70% потерь в последние годы вызвано лесными пожарами (Кирсанов, 2016). Поэтому дальнейшие исследования в данном направлении мониторинга пожарной опасности остаются актуальными и важными.

Работа проведена в рамках бюджетных проектов 0336-2019-0002 «Распространение радиоволн в неоднородных импедансных каналах» и АААА-А17-117011810038-7 «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами».

Литература

1. Базаров А. В., Бадмаев Н. Б., Кураков С. А., Гончиков Б.-М. Н., Цыбенков Ю. Б., Куликов А. И. Измерительный комплекс для автоматического долговременного контроля атмосферных и почвенных климатических параметров // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 4. С. 158–159.
2. Базаров А. В., Бадмаев Н. Б., Кураков С. А., Гончиков Б.-М. Н. Мобильный измерительный комплекс для сопряженного контроля атмосферных и почвенных параметров // Метеорология и гидрология. 2018. № 4. С. 104–109.
3. Белякин А. А., Волокитина А. В. Пирологическая характеристика типов леса в Южном Прибайкалье // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. 2010. Т. 46. № 7. С. 91–96.
4. Блохин Ю. И., Белов А. В., Блохина С. Ю. Комплексная система контроля влажности почвы и локальных метеоусловий для интерпретации данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 87–95.
5. Вонский С. М., Жданко В. А. Принципы разработки метеорологических показателей пожарной опасности в лесу: методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. 47 с.

6. *Вонский С. М., Жданко В. А., Корбут В. И., Семенов М. М., Тетюшева Л. В., Завгородняя Л. С.* Определение природной пожарной опасности в лесу: методические рекомендации. Л.: Гос. комитет СССР по лесному хоз-ву, 1979. 52 с.
7. *Губенко И. М., Рубинштейн К. Г.* Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Тр. Гидрометеоролог. научно-исследоват. центра Российской Федерации. 2012. № 347. С. 207–222.
8. *Доржиев Ц. З., Юхай Б., Бадмаева Е. Н., Ванчиндорж Б., Урбазаев Ч. Б., Юшань Ю.* Лесные пожары в Республике Бурятия за 2002–2016 гг. // Природа Внутренней Азии. 2017. Т. 4. № 3. С. 22–37.
9. *Евдокименко М. Д.* География и причины пожаров в байкальских лесах // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журн. 2013. Т. 334. № 4. С. 30–39.
10. *Кирсанов А. А.* Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере при лесных пожарах: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2016. 141 с.
11. *Лулян Е. А., Барталев С. А., Толпин В. А., Жарко В. О., Крашенинникова Ю. С., Оксюкевич А. Ю.* Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.
12. *Макаренко Е. Л.* Лесные пожары и их последствия в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Интерактивная наука. 2016. № 5. С. 9–12.
13. *Нестеров В. Г.* Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961. 384 с.
14. *Обязов В. А.* Влияние изменений метеорологических условий на лесопожарную обстановку в Забайкальском крае // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 27–35.
15. *Софронов М. А., Софронова Т. М., Волокитина А. В.* Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов // Лесное хоз-во. 2004. № 6. С. 31–32.
16. *Украинцев А. В., Плюснин А. М.* География и причины возникновения лесных пожаров в Заиграевском районе Республики Бурятия в 2010–2012 гг. // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 60–65.
17. *Ходаков В. Е., Жарикова М. В.* Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Гринь Д. С., 2011. 470 с.
18. *Badmaev N., Bazarov A.* Monitoring network for atmospheric and soil parameters measurements in permafrost area of Buryatia, Russian Federation // Geosciences. 2018. V. 9. No. 1. P. 6.
19. *Chaddock R. E.* Principles and Methods of Statistics. Boston: Houghton Mifflin Co., 1925. 471 p.
20. *Dharssi I., Kumar V.* Inter-Comparison of Land Surface Model Soil Moisture Data with Traditional Soil Dryness Indices // 21st Intern. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2015). Gold Coast, Australia, 2015. P. 208–214.
21. *Holgate Ch. M., van Dijk A. I. J. M., Cary G. J., Yebra M.* Using alternative soil moisture estimates in the McArthur Forest Fire Danger Index // Intern. J. Wildland Fire. 2017. V. 26. No. 9. P. 806–819.

The use of VEGA-Science meteorological data to study differences in fire hazard occurrence in the Baikal region arid and humid landscapes

R. S. Sychev^{1,3}, A. V. Bazarov¹, N. B. Badmaev²

¹ *Institute of Physical Materials Science SB RAS, Ulan-Ude 670047, Russia
E-mail: alebazaro@gmail.com*

² *Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude 670047, Russia
E-mail: nima_b@mail.ru*

³ *Federal Forestry Agency “Roslesinform”, Buryat Branch, Ulan-Ude 670013, Russia
E-mail: roman1594@mail.ru*

The paper uses the series of meteorological data from the VEGA-Science satellite information service. For information on fires, we used the Federal Forestry Agency data for the Republic of Buryatia, which are numerical time series of annual indicators for the number and area of fires in the republic forestries from 2001 to 2018. A correlation analysis was carried out in two climatically contrasting landscapes of the Eastern Baikal region and the Selenga Middle Mountains to assess the quantitative

relationship of meteorological parameters with the number and area of fires. Contrasting indicators of atmospheric climate are humid Baikal forestry and arid Ivolginsky forestry. Humid is a climate in which atmospheric precipitation prevails over evaporation; in an arid (dry) climate, the evaporation amount significantly exceeds atmospheric precipitation. Humid Baikal forestry is located on the shores of Lake Baikal (Eastern Baikal), Ivolginsky forestry is located in the central part of the Selenga Middle Mountains and is typical of arid ecosystems. A noticeable correlation was found between wildfire and soil moisture.

Keywords: meteorological data of satellite information service VEGA-Science, forest fires, correlation analysis, humid climate, arid climate

Accepted: 23.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-127-134

References

1. Bazarov A. V., Badmaev N. B., Kurakov S. A., Gonchikov B.-M. N., Tsybenov Yu. B., Kulikov A. I., Izmeritel'nyi kompleks dlya avtomaticheskogo dolgovremennogo kontrolya atmosferykh i pochvennykh klimaticheskikh parametrov (Measuring Equipment for Automatic Long-Term Monitoring of Atmospheric and Soil Climate Parameters), *Pribory i tekhnika eksperimenta*, 2016, No. 4, pp. 158–159.
2. Bazarov A. V., Badmaev N. B., Kurakov S. A., Gonchikov B.-M. N., Mobile measurement system for the coupled monitoring of atmospheric and soil parameters, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, Vol. 43, No. 4, pp. 271–275.
3. Belyakin A. A., Volokitina A. V., Pirologicheskaya kharakteristika tipov lesa v Yuzhnom Pribaikal'e (Forest type pyrological characteristics in the southern Pribaikalye), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, No. 7, pp. 91–96.
4. Blokhin Yu. I., Belov A. V., Blokhina S. Yu., Kompleksnaya sistema kontrolya vlazhnosti pochvy i lokal'nykh meteoulovii dlya interpretatsii dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Integrated system for control of soil moisture and local weather conditions for remote sensing data interpretation), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 87–95.
5. Vonskii S. M., Zhdanko V. A., *Printsipy razrabotki meteorologicheskikh pokazatelei pozharnoi opasnosti v lesu: metodicheskie rekomendatsii* (Principles for the development of meteorological indicators of fire hazard in the forest), Leningrad: LenNIILKh, 1976, 47 p.
6. Vonskii S. M., Zhdanko V. A., Korbut V. I., Semenov M. M., Tetyusheva L. V., Zavgorodnyaya L. S., *Opreделение prirodnoi pozharnoi opasnosti v lesu: metodicheskie rekomendatsii* (Determination of natural fire hazard in the forest), Leningrad: Gosudarstvennyi komitet SSSR po lesnomu khozyaistvu, 1979, 52 p.
7. Gubenko I. M., Rubinshtein K. G., Sravnitel'nyi analiz metodov rascheta indeksov pozharnoi opasnosti (Comparative analysis of fire hazard index calculation methods), *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2012, No. 347, pp. 207–222.
8. Dorzhiev T. Z., Yukhai B., Badmaeva E. N., Batsaikhan V., Urbazayev C. B., Yushan Y., Lesnye pozhary v Respublike Buryatiya za 2002–2016 gg. (Forest fires in republic of Buryatia for 2002–2016), *Priroda Vnutrennei Azii*, 2017, Vol. 4, No. 3, pp. 22–37.
9. Evdokimenko M. D., Geografiya i prichiny pozharov v baikal'skikh lesakh (Forest fire causes and distribution in the Baikal Region), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoy zhurnal*, 2013, Vol. 334, No. 4, pp. 33–39.
10. Kirsanov A. A., *Modelirovanie rasprostraneniya zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfere pri lesnykh pozharakh: Dis. kand. geogr. nauk* (Modeling the spread of pollutants in the atmosphere during forest fires. Cand. geogr. sci. thesis), Moscow, 2016, 141 p.
11. Loupian E. A., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Zharko V. O., Krashenninnikova Yu. S., Oksyukevich A. Yu., Ispol'zovanie sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (VEGA satellite service applications in regional remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 215–232.
12. Makarenko E. L., Lesnye pozhary i ikh posledstviya v tsentral'noi ekologicheskoi zone Baikal'skoi prirodnoi territorii (Forest fires and their consequences in the central ecological zone of the Baikal natural territory), *Interaktivnaya nauka*, 2016, No. 5, pp. 9–12.
13. Nesterov V. G., *Voprosy sovremennogo lesovodstva* (Issues of modern forestry), Moscow: Sel'khozgiz, 1961, 384 p.
14. Obyazov V. A., Vliyanie izmenenii meteorologicheskikh uslovii na lesopozharnuyu obstanovku v Zabaikal'skom krae (Effects of changes in meteorological conditions on the forest fire conditions in Zabaikal'skii krai), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, Vol. 37, No. 6, pp. 373–378.

15. Sofronov M. A., Sofronova T. M., Volokitina A. B., Otsenka pozharnoi opasnosti po usloviyam pogody s ispol'zovaniem meteoprognozov (Wildfire hazard assessment using weather forecasts), *Lesnoe khozyaistvo*, 2004, No. 6, pp. 31–32.
16. Ukraintsev A. V., Plyusnin A. M., Geografiya i prichiny vozniknoveniya lesnykh pozharov v Zaigraevskom raione Respubliki Buryatiya v 2010–2012 gg. (Forest fires in Zaigraevsky district of the Republic of Buryatia in 2010–2012: causes of fire and damage), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2015, No. 2, pp. 60–65.
17. Khodakov V. E., Zharikova M. V., *Lesnye pozhary: metody i issledovaniya* (Forest fires: research methods), Kherson: Grin' D. S., 2011, 470 p.
18. Badmaev N., Bazarov A., Monitoring network for atmospheric and soil parameters measurements in permafrost area of Buryatia, Russian Federation, *Geosciences*, 2018, Vol. 9, No. 1, p. 6.
19. Chaddock R. E., *Principles and Methods of Statistics*, Boston: Houghton Mifflin Co., 1925, 471 p.
20. Dharssi I., Kumar V., Inter-Comparison of Land Surface Model Soil Moisture Data with Traditional Soil Dryness Indices, *21st Intern. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2015)*, Gold Coast, Australia, 2015, pp. 208–214.
21. Holgate Ch. M., van Dijk A. I. J. M., Cary G. J., Yebra M., Using alternative soil moisture estimates in the McArthur Forest Fire Danger Index, *Intern. J. Wildland Fire*, 2017, Vol. 26, No. 9, pp. 806–819.