

А.Н. Берденгалиева¹

АНАЛИЗ ГОРИМОСТИ ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ НИЖНЕЙ ВОЛГИ ПО ДАННЫМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ СПУТНИКОВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АКТИВНОГО ГОРЕНИЯ И ВЫГОРЕВШИХ ПЛОЩАДЕЙ

АННОТАЦИЯ

В последние два десятилетия существенно интенсифицировались ландшафтные пожары. Лесным пожарам посвящено достаточно много исследований, в то время как анализу горимости нелесных земель уделяется намного меньше внимания. Пойменные ландшафты засушливой зоны, к которым относится и Волго-Ахтубинская пойма с дельтой Волги, практически не охвачены исследованиями пожарного режима. Целью работы является установление пространственно-временных закономерностей горимости пойменных ландшафтов Волги в ее нижнем течении по данным детектирования активного горения и выгоревших площадей на основе технологий дистанционного зондирования Земли. В работе использовались данные MCD14ML (FIRMS), MCD64A1, FireCCI51 и GABAM за 2001–2020 гг., первые три из которых основаны на данных MODIS, последний – на данных Landsat. Каждый из продуктов имеет как пропуски, так и ложные определения и артефакты. Тем не менее, совместный анализ всех данных позволяет получить достоверную оценку горимости. Всего за период исследований общая площадь гарей составила от 2,9 млн до 4,8 млн га по оценкам разных продуктов. Среднемноголетняя горимость составляет 9,2 % территории исследования. Максимальная горимость отмечена в 2019 г. (15,4 %), а минимальная – в 2016 г. (2,8 %). Эти годы характеризуются наименьшей и наибольшей продолжительностью периодов максимальных расходов половодья соответственно. Влияние гидрологической ситуации на горимость пойменных ландшафтов подтверждается корреляционным анализом. Установлена значимая корреляционная связь горимости с уровнем половодья и его длительностью. Чем выше максимальная отметка заливания поймы и дольше вода держится на пойме, тем ниже горимость. Особенно сильно это проявляется в дельте Волги, где из-за сокращения расходов половодья и падения уровня Каспия усиливается обсыхание пойменных ландшафтов. Это ведет к интенсификации пожаров. Кроме гидрологической ситуации на горимость оказывает влияние погода. При этом основной климатический фактор – атмосферное увлажнение. Чем больше выпадает осадков, тем меньше горимость. Температура воздуха не влияет на величину выгоревшей площади, поскольку на протяжении всего теплого периода температуры остаются достаточно высокими. Тенденции гидрологических изменений направлены на снижение водности половодья, что будет приводить к обсыханию поймы на фоне продолжающегося падения уровня Каспия. При существующей системе противопожарной профилактики следует ожидать дальнейшего роста горимости ландшафтов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистанционное зондирование, природные пожары, FIRMS, MCD64A1, GABAM, FireCCI51

¹ Федеральний научний центр агроекології комплексних меліорацій і захитного лесорозведення РАН, пр. Университетський, 97, 400062, Волгоград, Росія, e-mail: berdengalieva-an@vifanc.ru

Asel N. Berdengalieva¹

ANALYSIS OF THE LOWER VOLGA FLOODPLAIN LANDSCAPES BURNING ACCORDING TO ACTIVE FIRE AND BURNT AREAS SATELLITE DATA

ABSTRACT

Landscape fires have significantly intensified in the last two decades. A lot of research is devoted to forest fires, while much less attention is paid to the analysis of the burning of non-forest lands. The floodplain landscapes of the arid zone, which include the Volga-Akhtuba floodplain with the Volga delta, are practically not covered by studies of the fire regime. The aim of the work is to establish the spatio-temporal regularities of the burning of the floodplain landscapes of the Volga in its lower reaches according to the detection of active burning and burnt areas based on Earth remote sensing technologies. The work used MCD14ML (FIRMS), MCD64A1, FireCCI51 and GABAM data for 2001-2020, the first three of which are based on MODIS data, the last one is based on Landsat data. Each of the products has both omissions and false definitions and artifacts. Nevertheless, a joint analysis of all the data makes it possible to obtain a fairly reliable assessment of the flammability. In total, during the study period, the total area of burned areas ranged from 2.9 million hectares to 4.8 million, according to estimates of different products. The average long-term flammability is 9.2 % of the study area. The maximum burning rate was noted in 2019 (15.4 %), and the minimum – in 2016 (2.8 %). These years are characterized by the shortest and longest duration of periods of maximum flood flow, respectively. The influence of the hydrological situation on the burning of floodplain landscapes is confirmed by the correlation analysis. A significant correlation between the fire rate and the flood level and its duration has been established. The higher the maximum flood level of the floodplain and the longer the water stays on the floodplain, the lower the flammability. This is especially pronounced in the Volga delta, where, due to the reduction in flood costs and the drop in the level of the Caspian Sea, the drying of floodplain landscapes is intensifying. This leads to the intensification of fires. In addition to the hydrological situation, the weather affects the flammability. At the same time, the main climatic factor is atmospheric moisture. The more rainfall, the less fire. The air temperature does not affect the size of the burnt area, since the temperatures remain quite high throughout the entire warm period. Trends in hydrological changes are aimed at reducing the water content of the flood, which will lead to the drying of the floodplain against the backdrop of a continuing drop in the level of the Caspian Sea. With the existing system of fire prevention, we should expect a further increase in the burning of landscapes.

KEYWORDS: remote sensing, wildfire, FIRMS, MCD64A1, GABAM, FireCCI51

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX – начале XXI в. на юге России интенсифицировались ландшафтные пожары. Основными причинами стали: рост площадей заброшенных сельскохозяйственных земель, снижение поголовья скота, вызванные ухудшением социально-экономических условий 90-х годов прошлого века. Также благоприятные климатические флуктуации способствовали росту растительности и накоплению ветоши [Павлейчик, 2016; Dubinin et al., 2011; Pavleichik, Chibilev, 2018]. Лесные пожары хорошо изучены [Барталев и др., 2012а; Барталев и др., 2017; Лупян и др. 2017], уже много лет функционирует система дистанционного мониторинга «ИСДМ-Рослесхоз», предназначенная для оперативного мониторинга пожарной ситуации, прогноза развития пожара и оценки степени повреждения лесов [Лупян и др., 2015а; Kotelnikov

¹Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Universitetsky pr., 97, 400062, Volgograd, Russia, e-mail: berdengalieva-an@vfanc.ru

et al., 2020]. Степным пожарам уделяется также немало внимания [Павлейчик, 2018; Шинкаренко, 2018; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019; Dubinin et al., 2010], в то время как пожары в интразональных ландшафтах речных пойм в засушливой зоне почти не охвачены исследованиями [Дымова, 2019]. Например, дельта Волги является территорией наибольшей интенсивности пожаров в аридной зоне России и Западном Казахстане [Шинкаренко и др., 2021a]. Так, в окрестностях Астраханского биосферного заповедника и его охранной зоне есть участки, горевшие 18 раз за последние 20 лет [Шинкаренко и др., 2021б]. Водно-болотные угодья отличаются очень высокой продуктивностью растительности, продуктивность тростниковых сообществ в дельте Волги может достигать 5–7 т/га сухой массы в год [Бармин, Голуб, 2000]. При сгорании такого количества органического вещества в атмосферу выделяется большая масса парниковых газов и других продуктов горения.

Целью исследования является анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги по данным различных информационных продуктов детектирования природных пожаров, а также установление закономерностей и факторов горимости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование основано на обработке тематических информационных продуктов выгоревших площадей MCD64A1 [Giglio et al., 2015; Giglio et al., 2018], FireCCI51 [Chuvieco et al., 2018], GABAM (Global Annual Burned Area Mapping) [Long et al., 2019] и детектирования активного горения MCD14ML (FIRMS) [Giglio et al., 2006; 2020]. Продукты MCD64A1 (формат hdf), FireCCI51 (ESA Fire Climate Change Initiative) (формат GeoTIFF) и MCD14ML (в формате csv) основаны на данных прибора MODIS (спутники Terra и Aqua) и имеют пространственное разрешение около 500, 250 и 1000 м, соответственно, и временной охват с 2001 г. по н. в. Предоставляются в виде файлов с данными за календарный месяц. Данные MCD14ML являются результатом обработки тепловых каналов прибора MODIS с выделением температурных аномалий. Данные MCD64A1 и FireCCI51 основываются на классификации временных серий комбинаций каналов MODIS без включения тепловых, поскольку те имеют самое низкое разрешение. При этом FireCCI51 использует исключительно красный и БИК-каналы, разрешение которых у прибора MODIS максимально – 250 м. Продукт GABAM основан на данных Landsat 5–8, имеет разрешение 30 м, доступен в формате GeoTIFF. Все данные были преобразованы в формат shapefile, точечные данные детектирования активного горения предварительно были преобразованы в полигоны со стороной 450 м с помощью буферных зон.

Территория исследований площадью около 3 млн га (в том числе 2,2 млн га суши) была разделена на четыре однородных гидролого-геоморфологических района согласно работе [Kuzmina et al., 2018]: 1 – гравистая пойма (от Волгоградского гидроузла до пос. Черный Яр), 2 – пойма с преобладанием заливных лугов (от пос. Черный Яр до с. Верхнелебяжье), 3 – дельта Волги, 4 – ильменно-бугровой район (рис. 1). Гидрологические данные приводятся согласно работам [Кривошей, 2015; Лобойко и др., 2018]. Исходные данные детектирования активного горения получены с помощью сервиса Vega [Барталев и др., 2012б], функционирующего в рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [Луянян и др., 2015б]. Геоинформационная обработка выполнена в программе QGIS 3, статистический анализ проведен в Microsoft Excel. Площади пожаров рассчитаны на эллипсоиде WGS84. При расчете горимости из площадей территории были вычтены площади водоемов на период летне-осенней межени.

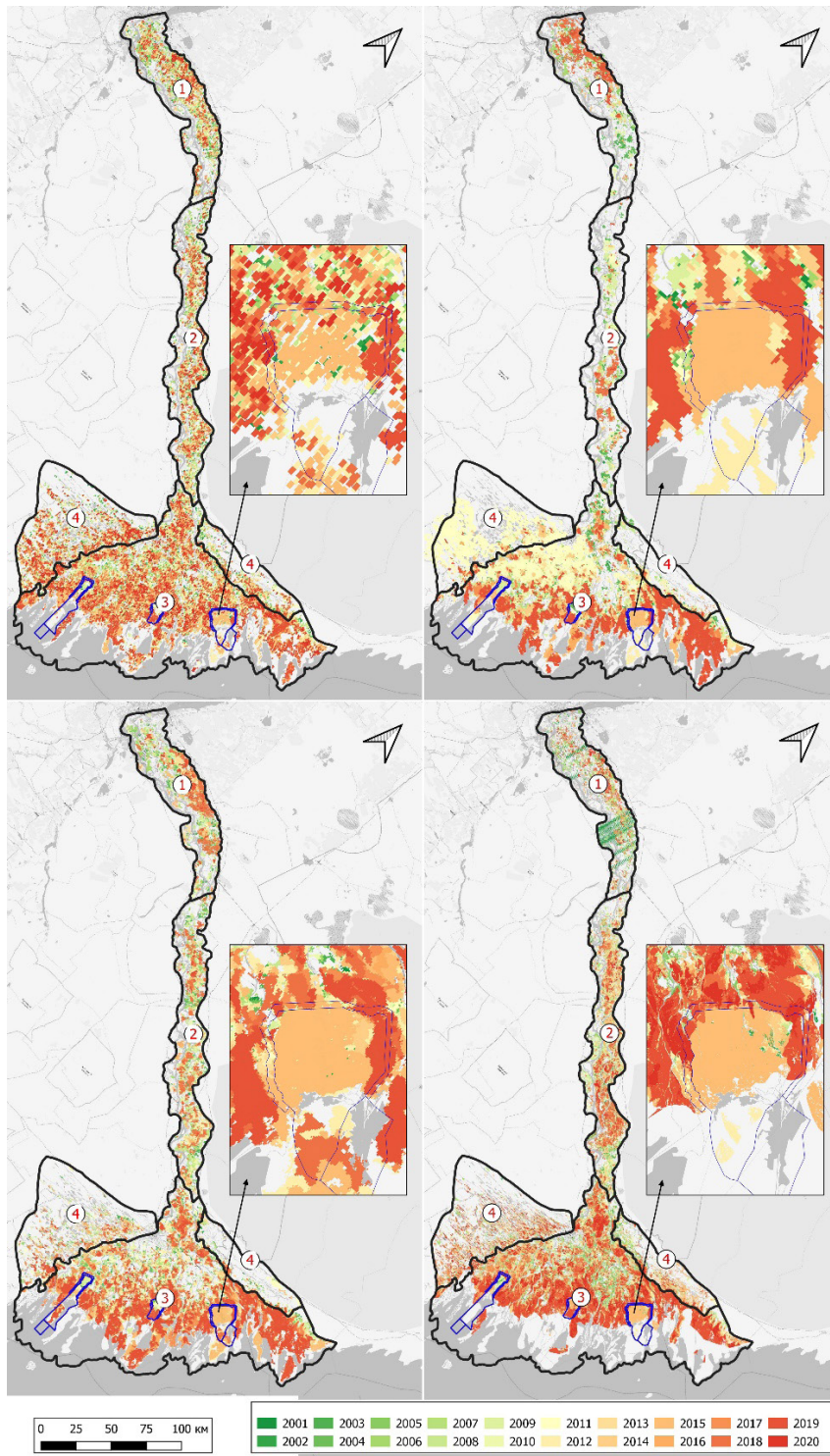


Рис. 1. Выгоревшие площади по данным MCD14ML (вверху слева), MCD64A1 (вверху справа), FireCCI51 (внизу слева), GABAM (внизу справа), 1-4 – гидролого-геоморфологические районы, синий контур – границы заповедника
Fig. 1. Burnt areas: MCD14ML (upper left), MCD64A1 (upper right), FireCCI51 (bottom left), GABAM (bottom right), 1-4 – hydrological-geomorphology zones, blue contour – nature reserve border

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геоинформационная обработка данных MCD14ML, MCD64A1, FireCCI51 и GABAM позволила получить набор электронных карт выгоревших площадей в Волго-Ахтубинской пойме (ВАП) и дельте Волги (рис. 1).

Общая площадь гарей составляет от 2,9 млн га по данным MCD64A1 до 4,8 млн га по данным GABAM. У последних отмечены артефакты в северной части района исследований в 2001 г., поэтому площадь пожаров завышена в этот год. Также по данным этого продукта в 2005 г. очень сильно завышены выгоревшие площади на всей территории, кроме северной части ВАП. Экспертная проверка показала, что к выгоревшим отнесены территории даже крупных населенных пунктов. В 2011 и 2018 гг. отмечается аналогичная проблема с данными MCD64A1. Кроме того, по данным FireCCI в отдельные годы залитые в половодье земли отнесены к выгоревшим. Также заметны артефакты на границе гранул MODIS. По этим причинам ни один из информационных продуктов не является в полной мере достоверным. Тем не менее, тенденции горимости, которые будут характерны для большинства продуктов, можно считать адекватными.

Наибольшей горимостью по данным FireCCI характеризуется 2012 г. (18,5 %, среднемноголетняя горимость – 10,5 %), по данным MCD64A1 – 2011 г. (21,3 %, среднемноголетняя горимость – 6,8 %), MCD14ML – 2015 г. (14,2 %, среднемноголетняя горимость – 9,1 %), GABAM – 2005 г. (36,1 %, среднемноголетняя горимость – 10,7 %). Усредненная горимость по всем данным составляет 9,2 % территории в год, что соответствует оценке по данным MCD14ML (FIRMS). При этом максимальное значение горимости по средним данным наблюдалось в 2019 г. (15,4 % территории), а минимальное – в 2016 г. (2,8 %, см. рис. 2), по результатам экспертного дешифрирования эти же годы имели максимальную и минимальную горимость соответственно, а среднемноголетняя равна 11 % [Шинкаренко и др., 2022]. Ни один из использованных продуктов не позволил выявить год с наибольшей горимостью. Таким образом, результаты согласно отдельным данным разных информационных продуктов существенно отличаются, что может свидетельствовать как о недоучете гарей при детектировании активного горения продуктом MCD14ML, так и о ложных определениях гарей соответствующими информационными продуктами, о чем написано выше. Тем не менее, использование усредненных значений по всем данным достаточно согласуется с результатами экспертного дешифрирования. Среди всех ландшафтов ВАП и дельты Волги наибольшая горимость у тростниковых зарослей авандельты. По усредненным данным в дельте Волги в среднем ежегодно выгорает 13 % территории, а максимальная горимость наблюдалась в 2019 г. (25,7 % территории). По данным экспертного дешифрирования среднемноголетняя горимость в дельте составляет 16,7 % [Шинкаренко и др., 2022], что превышает полученные оценки по данным информационных продуктов.

Продукт MCD64A1 стабильно занижает выгоревшие площади (рис. 2). Наиболее точно все продукты детектируют выгоревшие площади в дельте Волги, поскольку эта территория имеет наибольшую площадь, и отдельные пожары тут также имеют максимальную площадь [Шинкаренко и др., 2021б]. В северной части ВАП и в ильменно-бугровых ландшафтах в силу специфики территории (в первом случае – гривистый рельеф, относительно небольшие площади ВБУ, во втором – вытянутые в субширотном направлении ильмени и приуроченные к ним узкие полосы растительности) пожары имеют небольшую площадь. Поэтому каждому очагу горения соответствует намного меньшая площадь, чем размер пикселя MODIS (250–1000 м). По этой причине здесь сильно завышены оценки по данным MCD14ML и, наоборот, занижены по данным MCD64A1 и FireCCI51. Наиболее точен в этих условиях GABAM.

Для возникновения и распространения пожаров необходимо три фактора: наличие источника огня, горючего материала и погодные условия. В ВАП и дельте Волги преобладают антропогенные факторы возникновения пожаров: местные жители поджигают сухую траву и тростник, т.к. считают это способом улучшения состояния пастбищ и сенокосов [Дымова, 2019]. Погодные условия большую часть года способствуют пожароопасной обстановке, поскольку осадков выпадает в разы больше потенциальной испаряемости, а температуры воздуха высокие в течение всего теплого периода.

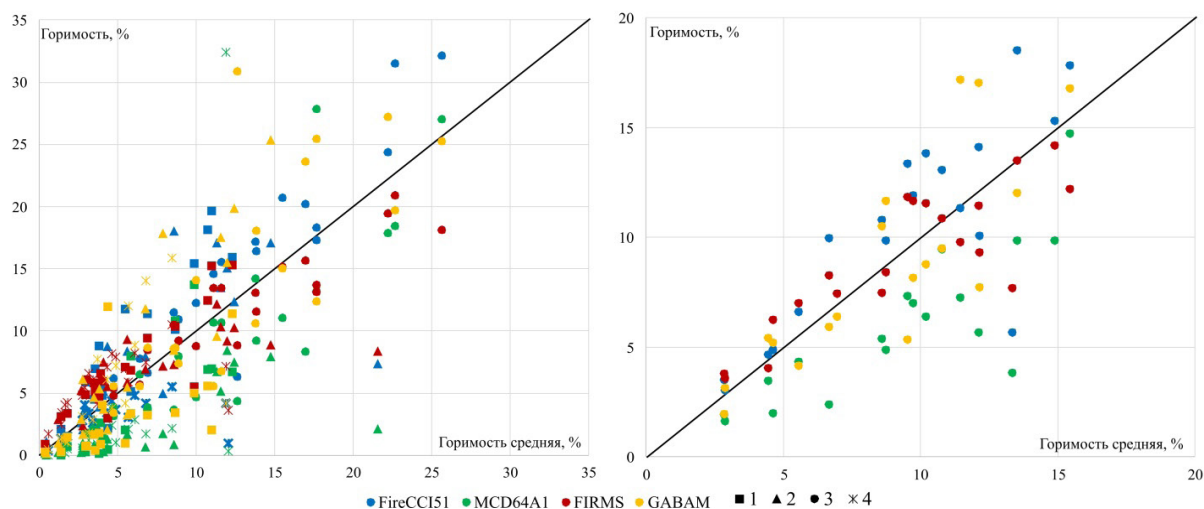


Рис. 2. Отклонение горимости по данным информационных продуктов от среднего значения (слева – значения для 1-4 гидролого-геоморфологических районов, справа – для всей территории исследований)

Fig. 2. Deviation of flammability according to information products from the average value (on the left – values for 1-4 hydrological-geomorphological regions, on the right – for the entire study area)

В отличие от зональных ландшафтов полупустынь и пустынь, окружающих ВАП, пойменная растительность представлена высокопродуктивными луговыми и околородными сообществами [Golub et al., 2020]. Продуктивность пойменной растительности очень зависит от гидрологического режима. Снижение продолжительности и уровней половодья последних десятилетий после строительства каскада водохранилищ на Волге приводит к деградации пойменных экосистем и частичному выходу из пойменного режима [Kuzmina et al., 2018]. В ВАП и дельте Волги больше 80 % пожаров приходится на март и апрель, когда сгорает прошлогодняя растительность [Шинкаренко и др., 2021a].

Половодье на Нижней Волге, которое обычно начинается во второй половине апреля, способствует резкому снижению горимости, поскольку территория заливается водой. При достаточном обводнении большая часть заливаемой поймы занята луговыми растительными сообществами, которые вегетируют на протяжении практически всего сезона и плохо горят из-за высокой влажности побегов. Обычно после нескольких благоприятных в гидрологическом отношении лет накапливается достаточно большой запас растительной мортмассы, которая выгорает в маловодные годы. Для определения факторов горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги были определены коэффициенты корреляции с показателями гидрологической ситуации (длительность, даты начала и окончания, максимальный уровень половодья,) и гидротермическими условиями пожароопасного периода (средняя температура и сумма осадков) (табл. 1).

Наибольшее влияние на горимость пойменных ландшафтов оказывает максимальный уровень половодья, также важна длительность половодья. Эти величины взаимосвязаны: для достижения наибольших уровней воды необходимы достаточно продолжительные попуски из Волгоградского водохранилища [Лобойко и др., 2018; Kuzmina et al., 2018]. Характерно, что горимость северной и центральной частей ВАП в меньшей степени зависят от гидрологической ситуации. Высотные отметки пойменных уровней здесь выше, много участков, вышедших из пойменного режима и занятых растительностью по видовому составу близкой к зональной [Golub et al., 2020]. Таким образом, в северной части ВАП меньше площади заливаемых пойменных земель, поэтому их горимость меньше связана с гидрологической ситуацией. Значимой связи горимости Волго-Ахтубинской поймы и погоды не выявлено.

Иначе обстоит ситуация в дельте Волги. В условиях падения уровня Каспия отмечается уменьшение подбора приемного водоема для водотоков дельты, что на фоне снижения максимальных расходов воды приводит к тому, что уровни воды в половодье также снижаются. Это приводит к периодическому обсыханию дельты, что приводит к катастрофической горимости, как это было в 2019 г. Наполнение водоемов ильменно-бугровых ландшафтов также зависит от уровня половодья. Этим объясняется высокая отрицательная корреляционная связь горимости ландшафтов дельты Волги и высоты половодья. При продолжающемся падении уровня Каспийского моря стоит ожидать роста горимости в дельте Волги. Дельта Волги – единственный гидролого-геоморфологический район, где отмечена значимая отрицательная связь горимости и суммы осадков. Это может быть связано с наиболее засушливыми условиями данного района на всей территории исследований. Поэтому наличие осадков в пожароопасный период наиболее сильно влияет на состояние растительного покрова, способствуя продлению периода вегетации, что снижает пожарную опасность.

В Волго-Ахтубинской пойме не отмечено значимых трендов горимости ни по одному из продуктов, в том числе и по средним значениями. Положительный значимый тренд горимости характерен для дельты Волги по данным FireCCI, MCD64A1 и среднему по всем продуктам. Дельта Волги является единственной территорией на юге России, где в настоящее время отмечен положительный тренд горимости, что согласуется с данными [Шинкаренко и др., 2021а; Шинкаренко и др., 2022]. По данным MCD14ML положительный тренд характерен для ильменно-бугрового района, но ни другие продукты, ни экспертное дешифрирование это не подтверждают [Шинкаренко и др., 2022]. Это связано с увеличением количества пожаров и соответствующим ростом числа детектируемых тепловых аномалий, в результате и завышается выгоревшая площадь, что было отмечено выше.

ВЫВОДЫ

Информационные продукты детектирования выгоревших площадей в условиях речных пойм имеют как ошибки комиссии, так и оmissии. Заливание в половодье часто идентифицируется как пожар, также к выгоревшим могут быть отнесены и застроенные территории населенных пунктов. Также данные не лишены артефактов. Решением проблемы может стать комплексное использование нескольких продуктов одновременно. Например, учет только гарей, зафиксированных не менее чем двумя наборами данных.

Табл. 1. Коэффициенты корреляции горимости (курсив – значимые коэффициенты корреляции при $p > 0,95$)
 Table 1. Correlation coefficients of burning (in italics – significant correlation coefficients at $p > 0.95$)

Показатели		Гидролого-геоморфологические районы				
		1	2	3	4	Всего
MCD14ML						
Половодье	Длительность	-0,12	-0,06	<i>-0,47</i>	<i>-0,27</i>	<i>-0,40</i>
	Максимальный расход	<i>-0,40</i>	-0,18	<i>-0,47</i>	<i>-0,56</i>	<i>-0,51</i>
	Дата начала	0,24	-0,03	0,34	0,05	0,28
	Дата окончания	-0,03	0,11	0,35	0,32	0,30
	Максимальный уровень	<i>-0,44</i>	-0,26	<i>-0,72</i>	<i>-0,72</i>	<i>-0,74</i>
Средняя температура		-0,29	0,02	0,13	0,20	0,09
Сумма осадков		-0,11	-0,22	<i>-0,49</i>	<i>-0,51</i>	<i>-0,50</i>
Среднегодовой расход		-0,36	-0,22	<i>-0,68</i>	<i>-0,64</i>	<i>-0,67</i>

Показатели		Гидролого-геоморфологические районы				
		1	2	3	4	Всего
MCD64A1						
Половодье	Длительность	-0,20	0,06	-0,69	-0,18	-0,59
	Максимальный расход	-0,01	0,02	-0,34	-0,05	-0,27
	Дата начала	-0,23	-0,31	0,44	0,05	0,30
	Дата окончания	0,37	0,12	0,52	0,18	0,50
	Максимальный уровень	-0,05	0,09	-0,69	-0,22	-0,57
Средняя температура		-0,22	0,14	-0,12	0,09	-0,06
Сумма осадков		0,11	-0,20	-0,30	0,04	-0,25
Среднегодовой расход		-0,08	-0,02	-0,61	-0,14	-0,51
FireCCI51						
Половодье	Длительность	0,02	0,23	-0,59	-0,38	-0,47
	Максимальный расход	-0,23	0,00	-0,34	-0,50	-0,36
	Дата начала	-0,14	-0,32	0,32	0,10	0,19
	Дата окончания	0,06	-0,07	0,48	0,38	0,42
	Максимальный уровень	-0,29	0,08	-0,63	-0,70	-0,61
Средняя температура		-0,25	0,26	0,07	0,25	0,10
Сумма осадков		0,02	-0,22	-0,49	-0,64	-0,54
Среднегодовой расход		-0,29	0,01	-0,61	-0,62	-0,59
GABAM						
Половодье	Длительность	-0,05	0,14	-0,36	-0,12	-0,19
	Максимальный расход	-0,25	0,04	-0,13	-0,07	-0,09
	Дата начала	0,19	0,01	0,20	0,20	0,18
	Дата окончания	-0,07	-0,19	0,32	0,00	0,11
	Максимальный уровень	-0,29	-0,35	-0,75	-0,83	-0,75
Средняя температура		-0,12	0,14	0,35	0,17	0,29
Сумма осадков		-0,16	-0,09	-0,44	-0,15	-0,31
Среднегодовой расход		-0,08	0,08	-0,29	-0,09	-0,16
Среднее						
Половодье	Длительность	-0,11	0,15	-0,60	-0,21	-0,48
	Максимальный расход	-0,27	0,01	-0,34	-0,24	-0,34
	Дата начала	0,04	-0,10	0,37	0,13	0,29
	Дата окончания	0,11	-0,12	0,50	0,17	0,40
	Максимальный уровень	-0,33	-0,17	-0,79	-0,72	-0,78
Средняя температура		-0,28	0,19	0,13	0,24	0,18
Сумма осадков		-0,03	-0,18	-0,50	-0,25	-0,50
Среднегодовой расход		-0,27	0,03	-0,62	-0,29	-0,55

Установлена значимая корреляционная связь горимости с гидрологическими условиями на Нижней Волге: уровнем половодья и его длительностью. Чем выше максимальная отметка заливания поймы и дольше вода держится на пойме, тем ниже горимость. Особенно сильно это проявляется в дельте Волги, где из-за сокращения расходов

половодья и падения уровня Каспия усиливается обсыхание пойменных ландшафтов. Это ведет к интенсификации пожаров.

Кроме гидрологической ситуации на горимость оказывает влияние погода. При этом основной климатический фактор – атмосферное увлажнение. Чем больше выпадает осадков, тем меньше горимость. Отсутствие связи с температурами воздуха можно объяснить следующим образом: территория исследований расположена в засушливой зоне с жарким климатом. Поэтому в течение всего теплого периода температуры достаточно высокие для поддержания пожароопасной обстановки. Влияние гидрологических изменений на горимость подтверждают и тенденции горимости ландшафтов в разных гидролого-геоморфологических районах. Значимый положительный тренд горимости отмечен только в дельте Волги, где гидрологические изменения наиболее выражены из-за падения уровня Каспия и соответствующего снижения уровней половодья. В более северной Волго-Ахтубинской пойме подпор приемного водоема не влияет на водность половодья, в результате значимых трендов горимости нет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках темы НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-001.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out of the FSC of Agroecology RAS research project No. 0713-2019-001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бармин А.Н., Голуб В.Б. Поучительный урок результатов эксплуатации тростниковых зарослей в дельте реки Волги. Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т. 2. № 2. С. 295–299.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012а. Т. 9. № 2. С. 9–27.
3. Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толтин В.А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012б. Т. 9. № 1. С. 49–56.
4. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193.
5. Дымова Т.В. Основные и сопутствующие факторы воздействия на окружающую природную среду тростниковых пожаров. Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 2 (50). С. 210–214.
6. Кривошей В.А. Река Волга (проблемы и решения). 2015. М.: ООО Журнал «РТ». 92 с.
7. Лобойко В.Ф., Овчарова А.Ю., Никитина Н.С. Особенности водного режима Нижней Волги и его влияние на состояние северо-западной части Волго-Ахтубинской поймы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2018. № 4 (52). С. 89–96. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-11.
8. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175.

9. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценок Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П.* Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015а. Т. 12. № 5. С. 222–250.
10. *Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015б. Т. 12. № 5. С. 263–284.
11. *Павлейчик В.М.* К вопросу об активизации степных пожаров (на примере Заволжско-Уральского региона). Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология. 2016. № 3. С. 15–25.
12. *Павлейчик В.М.* Опыт применения данных дистанционного зондирования Земли в исследованиях степных пожаров. Успехи современного естествознания. 2018. № 11. С. 377–382.
13. *Шинкаренко С.С.* Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 138–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-138-146.
14. *Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М.* Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 143–157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
15. *Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н.* Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110.
16. *Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н., Комарова И.А.* Динамика горимости аридных ландшафтов России и сопредельных территорий по данным детектирования активного горения. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021а. Т. 18. № 1. С. 149–164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
17. *Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н.* Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России. Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021б. Т. 6. № 3. С. 23–44. DOI: 10.24189/ncr.2021.035.
18. *Chuvieco E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla Parellada M.* ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis. 2018. DOI: 10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537.
19. *Dubinina M., Lushekina A., Radeloff V.C.* 2011. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? Ecosystems. 2011 Vol. 14. P. 547–562. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.
20. *Dubinina M., Potapov P., Lushekina A., Radeloff V.C.* Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing. Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114. P. 1638–1648. DOI: 10.1016/j.rse.2010.02.010.
21. *Giglio L., Boschetti L., David P. R., Humber M.L., Justice C.O.* The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 217. P. 72–85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.
22. *Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J.* An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 87. P. 273–282. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6.

23. Giglio L., Justice C., Boschetti L., Roy D. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015. DOI: 10.5067/MODIS/MCD64A1.006.
24. Giglio L., Loboda T., Roy D.P., Quale B., Justice C.O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 113. P. 408–420. DOI: 10.1016/j.rse.2008.10.006.
25. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F. Changes in the flora composition of the Volga–Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river. *Arid ecosystems*. 2020. Vol. 10. No. 1. P. 44–51. DOI: 10.1134/S2079096120010047.
26. Kotelnikov R.V., Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V. Space Monitoring of Forest Fires: History of the Creation and Development of ISDM-Rosleskhoz. *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. Vol. 13. No. 7. P. 795–802. DOI: 10.1134/S1995425520070045
27. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*. 2018. Vol. 8. No. 4. P. 231–244. DOI: 10.1134/S2079096118040066.
28. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine. *Remote Sens.* 2019, 11, 489 p. DOI: 10.3390/rs11050489.
29. Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geography and natural resources*. 2018. Vol. 39. No 3. P. 212–221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.

REFERENCES

1. Barmin A.N., Golub V.B. Instructive lesson of results of reed thickets operation in the Volga river delta. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2000. V. 2. No 2. P. 295–299. (in Russian).
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Integrated burnt area assessment based on combine use of multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012. V. 9. No 2, P. 9–27 (in Russian).
3. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Khvostikov S.A., Loupian E.A. Methodology of post-fire tree mortality monitoring and prediction using remote sensing data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017. V. 14. No 6. P. 176-193. (in Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193.
4. Bartalev S.A., Ershov D.V., Loupian E.A., Tolpin V.A. Possibilities of satellite service VEGA using for different tasks of land ecosystems monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012. V. 9. No. 1. P. 49–56 (in Russian).
5. Chuvieco E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla Parellada M., ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis, 2018. DOI: 10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537.
6. Dubinin M., Lushekina A., Radeloff V.C. 2011. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*. 2011 Vol. 14. P. 547–562. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.
7. Dubinin M., Potapov P., Lushekina A., Radeloff V.C., Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 2010. V. 114. P. 1638–1648. DOI: 10.1016/j.rse.2010.02.010.
8. Dymova T.V. Main and related factors impact on the environment of the reed fires, *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, 2019. No. 2. P. 210–214. (in Russian).
9. Giglio L., Boschetti L., David P. R., Humber M.L. Justice C.O., The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product, *Remote Sensing of Environment*, 2018. V. 217. P. 72–85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.

10. Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 2006. V. 87. P. 273–282. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6.
11. Giglio L., Justice C., Boschetti L., Roy D. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set], NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015. DOI:10.5067/MODIS/MCD64A1.006.
12. Giglio L., Loboda T., Roy D.P., Quale B., Justice C.O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor, *Remote Sensing of Environment*, 2020. V. 113. P. 408–420. DOI: 10.1016/j.rse.2008.10.006.
13. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F., Changes in the flora composition of the Volga–Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river, *Arid ecosystems*, 2020. V. 10. No 1, P. 44–51. DOI: 10.1134/S2079096120010047.
14. Kotelnikov R.V., Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V., Space Monitoring of Forest Fires: History of the Creation and Development of ISDM-Rosleskhoz, *Contemporary Problems of Ecology*, 2020. V. 13, No 7. P. 795–802. DOI: 10.1134/S1995425520070045
15. Krivoshei V.A., *The Volga River: Problems and Solutions*, Moscow: Zhurnal “RT”, 92 p. (in Russian).
16. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S., Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*, 2018. V. 8. No 4. P. 231–244. DOI: 10.1134/S2079096118040066.
17. Loboiko V.F., Ovcharova A.Yu., Nikitina N.S., Features of the water regime of the Lower Volga and its impact on the condition of the north-western part of the Volga-Akhtuba floodplain. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2018. No 4 (52). P. 89–96. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-11.
18. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R., 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine, *Remote Sensing*, 2019. No 11. 489 p. DOI: 10.3390/rs11050489.
19. Loupian E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G. Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017. V. 14, No 6. P. 158–175. (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175.
20. Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V., Kotelnikov R.V., Balashov I.V., Burtsev M.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Zharko V.O., Kovganko K.A., Kolbudaev P.A., Krashenninnikova Yu.S., Proshin A.A., Mazurov A.A., Uvarov I.A., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Flitman E.V., Khvostikov S.A., Shulyak P.P. Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDMRosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015a. V. 12. No 5. P. 222–250 (in Russian).
21. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015b. V. 12. No 5. P. 263–284. (in Russian).
22. Pavleichik V.M. Experience of data application of remote sensing In studies of steppe fires. *Advances in current natural sciences*, 2018. No 11. P. 377–382. (in Russian).
23. Pavleichik V.M. On the question of the activation of steppe fires (on the example of the Trans-Volga-Ural region). *Proceedings of VGU, Geography. Geoecology*, 2016. No. 3. P. 15–25. (In Russian).
24. Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geography and natural resources*, 2018. V. 39. No 3. P. 212–221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.

25. *Shinkarenko S.S.*, Assessment of steppe burning dynamics in Astrakhan Region. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018. V. 15. No. 1. P. 138–146 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-138-146.
 26. *Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Ivanov N.M.* Spatio-temporal analysis of burnt area in The Lower Volga floodplain. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022. V. 19. No. 1. P. 143–157 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
 27. *Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N.* Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16. No 2. P. 98–110 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110.
 28. *Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A.* Dynamics of arid landscapes burning in Russia and adjacent territories based on active fire data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021. V. 18. No. 1. P. 149–164. (in Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
 29. *Shinkarenko S.S., Ivanov N.M., Berdengalieva A.N.* Spatio-temporal dynamics of burnt areas in federal protected areas of South-East of the European part of Russia. *Nature Conservation Research*, 2021. V. 6. No 3. P. 23–44. (in Russian). DOI: 10.24189/ncr.2021.035.
-