Применение долговременных рядов данных ДЗЗ для оценки масштабов ландшафтных пожаров в пределах Среднеамурской низменности

А. В. Остроухов

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: Ostran2004@bk.ru

Исследования пирогенной трансформации ландшафтов умеренного пояса Российской Федерации традиционно сосредоточены на анализе воздействия лесных пожаров. При этом масштабы ландшафтных пожаров в пределах нелесных геосистем, в которых они также имеют большое распространение, остаются слабо изученными. В работе на основе анализа долговременных рядов данных дистанционного зондирования Земли среднего пространственного разрешения (Landsat-5, -7, -8) выполнена оценка среднемноголетних масштабов, повторяемости и пространственной специфики ландшафтных пожаров в нелесных геосистемах Среднеамурской низменности в пределах Хабаровского края Российской Федерации. Результаты показывают, что в среднем за год пожарами затронуто 25,4 % от общей площади района работ, но в отдельные годы этот показатель превышает 50 %. Значительные участки территории подвергались воздействию огня многократно — от 2 до 36 раз в течение 37 лет. Общая площадь, пройденная огнём за этот период, составила более 38 млн га — 938 % от общей площади земель Среднеамурской низменности. При этом лесные пожары составили лишь 12 % от этой площади. В то же время луговые и лугово-болотные геосистемы, а также пойменные участки были пройдены пожарами многократно (площадь пожаров в них равна 1317,4 % общей площади этих геосистем). Пространственное распределение пожаров связано не только со степенью освоенности территории и транспортной инфраструктурой, но и со спецификой природопользования, например с охотой, рыбалкой и сбором дикорастущих растений, что определяет высокую повторяемость пожаров вдоль рек и озёр в северной и центральной частях равнины. Сопоставление полученных результатов с материалами автоматического картирования пожаров и их последствий отражает недостаточную точность методов, используемых при автоматическом картировании гарей, что приводит к значительной недооценке площади пожаров на нелесных землях.

Ключевые слова: ландшафтные пожары, данные дистанционного зондирования, Landsat, нелесные геосистемы, Среднеамурская низменность

Одобрена к печати: 18.10.2022
DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-164-175

Введение

Пирогенная трансформация ландшафтов была и остаётся одним из ведущих факторов антропогенного влияния на природную среду. С 1990-х гг. были опубликованы многочисленные исследования, оценивающие масштабы пожаров в тропических (Sannigrahi et al., 2020) и бореальных (Bartalev et al., 2007; Vivchar et al., 2010) лесах, африканских и австралийских саваннах (Kusangaya, Sithole, 2015) и степных регионах (Argañaraz et al., 2015). Большое количество работ также посвящено пожарам в бореальной зоне Северного полушария, однако авторы в основном сосредотачиваются на лесных и торфяных пожарах (Kukavskaya et al., 2012; Poulter et al., 2006), а также на исследовании сельскохозяйственных палов в Северной Америке (Korontzi et al., 2006), Восточной Европе (McCarty et al., 2017) и Азии (Li et al., 2016).

В России, крупнейшем лесном государстве мира, большое внимание всегда уделялось изучению проблем, связанных с лесными пожарами. Однако в последнее десятилетие появилось много работ о пожарах в нелесных районах — степных и лесостепных районах европейской части России и юга Западной Сибири, степях засушливой континентальной части Восточной Сибири (Шинкаренко и др., 2022; Tishkov, 2010). Исследования, проведённые в степях европейской части России, Белоруссии и Литвы, выявили значительные неучтённые

площади палов на сельскохозяйственных угодьях и пастбищах, в том числе в виде ранее неучтённых небольших гарей, за счёт которых оценённая площадь пожаров существенно увеличилась (Romanenkov et al., 2014).

Тем не менее такими исследованиями всё ещё недостаточно охвачены луговые и лугово-болотные геосистемы, в которых пожары характеризуются высокой повторяемостью из-за быстрого накопления горючих веществ. Характерная особенность этих геосистем — наличие двух «пожароопасных» сезонов, что отличает луга Дальнего Востока России от австралийских кустарниковых и африканских саванн, где ярко выражен один пожарный сезон (Kusangaya, Sithole, 2015), и аридной зоны европейской территории России (ЕТР), для которой характерен летний пик горимости в сочетании с весенним и осенним периодом повышенной горимости (Шинкаренко и др., 2021). Первый период высыхания трав приходится на весну: от таяния снега до начала активного роста растений. Второй отмечается осенью: с конца вегетационного периода до образования снежного покрова.

Один из таких регионов, где широко распространены лугово-болотные геосистемы умеренного пояса, — Среднеамурская низменность (*рис. 1*). В пределах Хабаровского края эта территория охватывает 4,116 млн га.

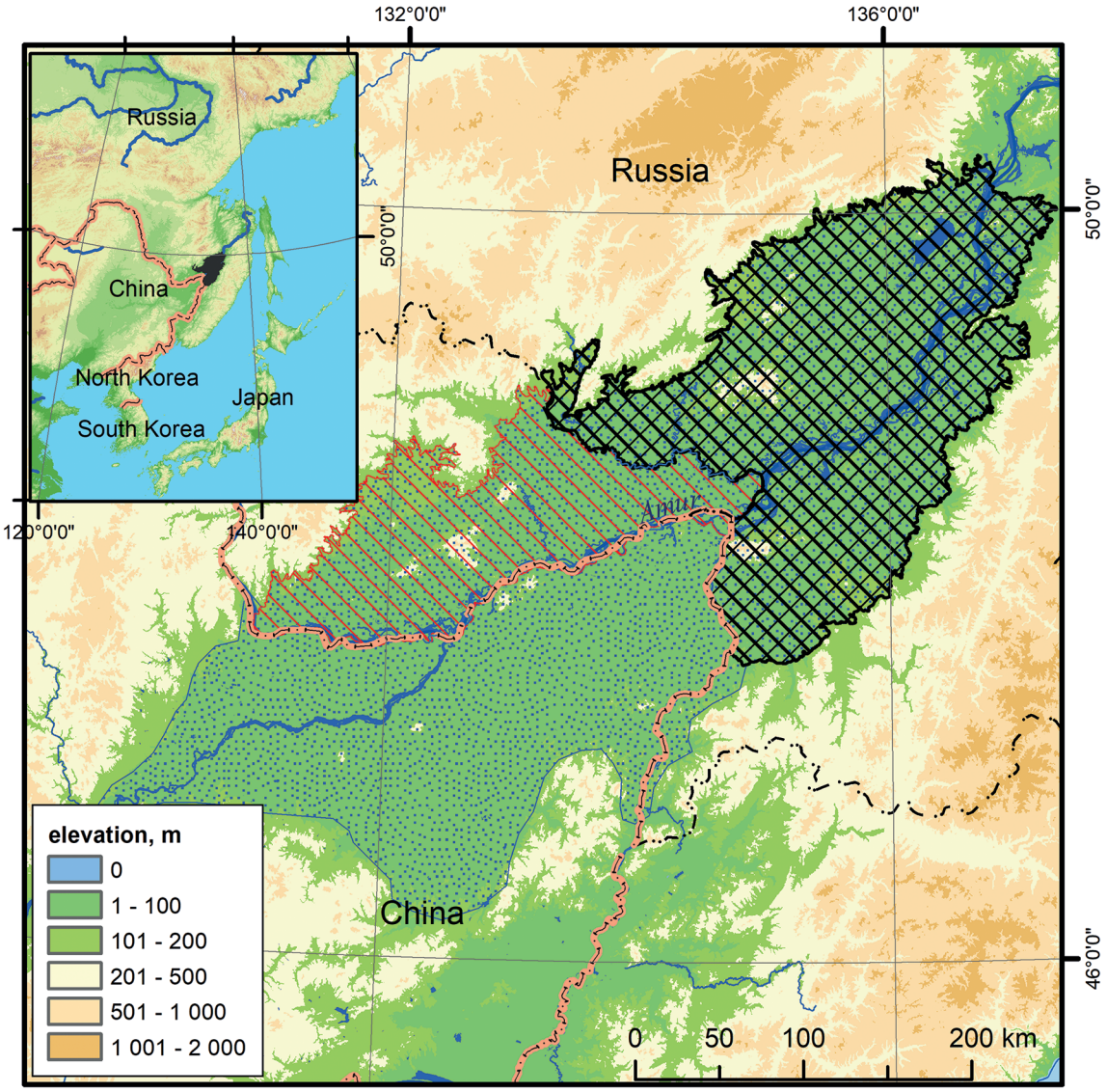

Рис. 1. Географическое положение Среднеамурской низменности. Область с чёрной поперечной штриховкой — Среднеамурская низменность в пределах Хабаровского края; с красной штриховкой — в пределах Российской Федерации; синие точки — Саньцзян-Среднеамурская равнина

Благодаря равнинному рельефу и избыточному увлажнению доминирующее положение здесь занимают луговые и лугово-болотные ландшафты. Значительно меньшие площади — у лиственных и мелколиственных лесов на равнинных участках с хорошим дренажём (Ostroukhov, Klimina, 2018). Масштабные ландшафтные пожары происходят здесь почти каждый год. Широкое развитие ландшафтных пожаров определяется спецификой климата, растительности и типа землепользования этой территории. Предыдущие исследования, посвящённые пирогенной динамике в Хабаровском крае, были в первую очередь направлены на оценку последствий лесных пожаров (Майорова и др., 2013).

Целью данной работы стала оценка масштабов и пространственной специфики ландшафтных пожаров территории Среднеамурской низменности (в пределах Хабаровского края Российской Федерации) на основе долговременного ряда данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Материалы и методы

Среднеамурская низменность является российской (северо-восточной) частью Саньцзян-Среднеамурской равнины (см. *рис. 1*). Река Амур — одна из крупнейших рек в мире — пересекает равнину с юго-запада на северо-восток, пойма реки в пределах равнины — шириной от 10 до 40 км, заболоченная, с множеством стариц и проток, русло реки многорукавное. В геолого-геоморфологическом плане территория представляет собой низменную аккумулятивную равнину, состоящую из аллювиальных и озёрно-аллювиальных отложений неоген-четвертичного возраста, с отдельными останцами низкогорных возвышенностей, относящихся к меловому возрасту. Для оценки масштабов пирогенного воздействия на различные геосистемы была использована разработанная авторами на основе анализа данных ДЗЗ карта типов геосистем территории (Ostroukhov, Klimina, 2018). По характеру растительного покрова выделены 49 подтипов геосистем, для удобства анализа сгруппированных в пять типов. Равнинный рельеф в сочетании с достаточно высоким коэффициентом увлажнения определяет доминирование лугово-болотной растительности, занимающей 30,1 % (*рис. 2*, см. с. 167). Переходные лесо-лугово-болотные геосистемы распространены на 19,4 %. К лесному типу относятся елово-пихтовые, кедрово-широколиственные, лиственничные и другие лесные геосистемы, занимающие 18,5 % низменности (см. *рис. 2*). Пойменные геосистемы разделены на лесные и лугово-кустарниковые и занимают 27 % территории.

Для выделения областей, пройденных пожарами, был использован метод экспертного визуального дешифрирования гарей на основе данных среднего и высокого пространственного разрешения (10/15/30 м) в видимом и инфракрасном диапазонах, что позволяет проводить детальные пространственные оценки. Такой выбор обусловлен тем, что данные ДЗЗ активного горения, получаемые приборами MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), характеризуются низким пространственным разрешением, что, как отмечали предыдущие исследователи (Шинкаренко и др., 2021, 2022; Bartalev et al., 2007), приводит к занижению площадей выделяемых пожаров в луговых и лугового-болотных ландшафтах.

Кроме того, по причине высокой повторяемости травяных пожаров (ежегодно, а иногда и два раза в год) и чередования лет с низкими и высокими показателями горимости потребовался длительный период наблюдения для определения среднегодовых характеристик пожаров и их тенденций (Oliva et al., 2011). Высокие темпы обновления растительности весной и относительно низкая частота спутниковых наблюдений затрудняют выявление гарей в травянистых геосистемах. Поэтому были использованы все безоблачные данные свободного доступа со спутников Landsat-5 (475 шт.), Landsat-7 (328 шт.) и Landsat-8 (189 шт.) за период с 1984 по 2020 г. с сайта Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/). Обработка данных осуществлялась в программе QGIS 3.18.1, где выделялись территории, пройденные огнём в весенний и осенний сезоны (отдельно), за каждый год. Для избегания ошибок дешифровки из площадей пожаров весны текущего года удалялись площади пожаров осени предыдущего.

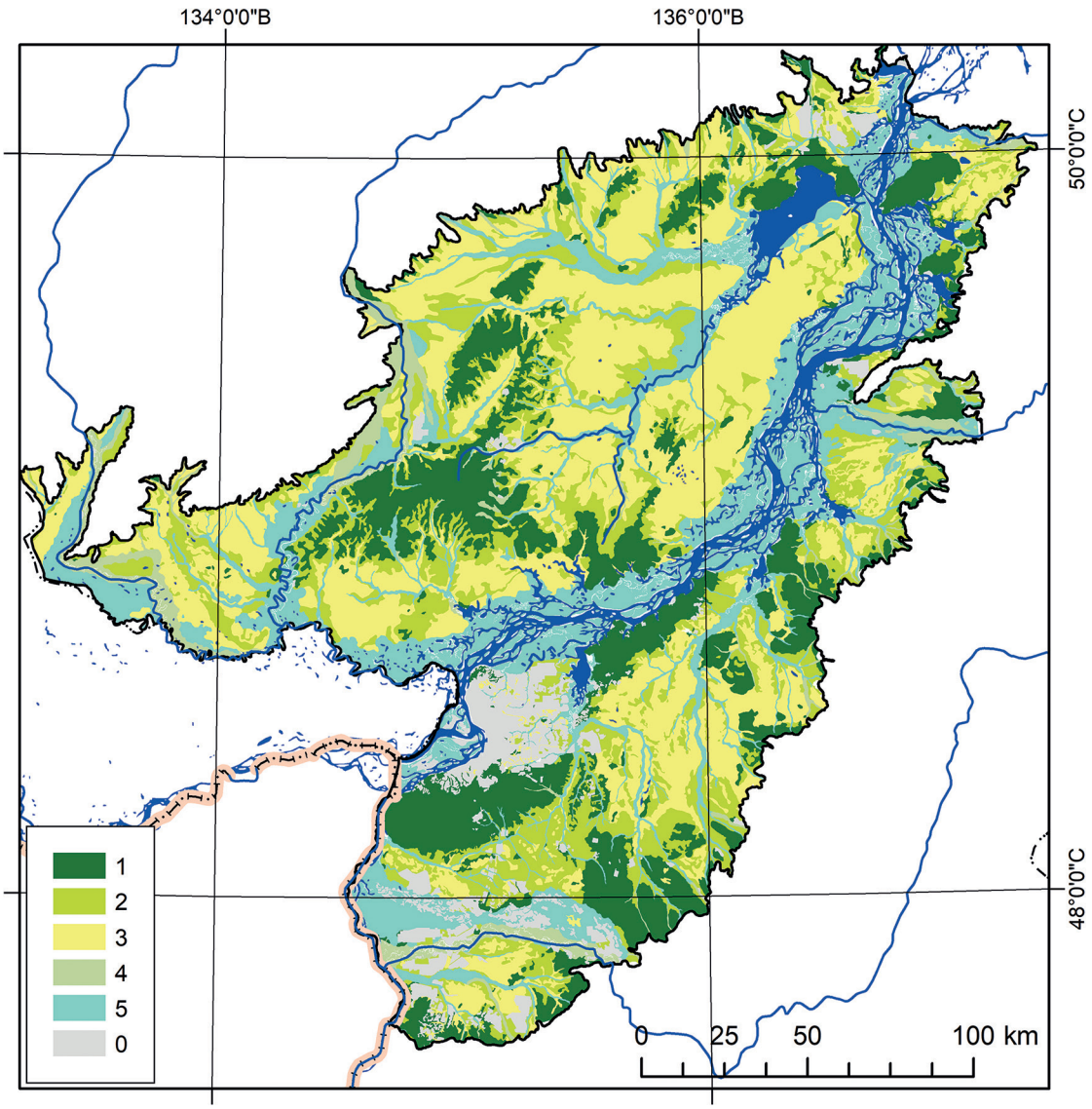

Рис. 2. Типы геосистем на территории Среднеамурской низменности: 1 — лесные; 2 — лесо-лугово-болотные; 3 — лугово-болотные; 4 — пойменные, преимущественно лесные; 5 — пойменные, преимущественно лугово-кустарниковые; 0 — освоенные земли (селитебные и промышленные, мелиорированные, сельскохозяйственные) (Ostroukhov, Klimina, 2018)

Результаты и обсуждение

На основе обработки данных ДЗЗ в пределах Среднеамурской низменности были выделены территории, пройденные пожарами в весенний и осенний периоды 1984–2020 гг. (*рис. 3* (см. с. 169), *табл. 1*). Наименьшие масштабы пожаров за это время отмечались в 1984, 1994 и 2010 гг. (5,7; 5,3 и 2,8 % территории соответственно). В самые неблагоприятные годы (1996 и 2005 гг.) площади пожаров превышали 50 %. Средний показатель горимости за весь период наблюдений составил 25,4 % от общей площади (см. *табл. 1*).

Пространственный анализ полученных данных позволил оценить частоту пожаров в разных типах растительности. Общая площадь, пройденная огнём за этот период, достигла более 38 млн га, что составляет 938 % от общей площади земель Среднеамурской низменности, т. е. территория полностью пройдена пожарами более девяти раз (*табл. 2*). При этом на вклад лесных пожаров приходится лишь 12 % от этой площади. В то же время луговые и лугово-болотные геосистемы, а также пойменные участки были пройдены пожаром многократно (площадь пожаров в них равна 1317,4 % общей площади этих геосистем).

Таблица 1. Площади пожаров в отдельные сезоны и их зависимость от гидрометеорологических условий года

Год	Площадь пожаров, доля от общей площади, %		Сумма осадков, мм*		Уровень воды**	
	Весна	Осень	Ноябрь – май	Август – октябрь	1 ноября – 31 мая	1 августа – 30 ноября
1984	5,7	0	145	365	–	
1985	7,7	**1,4**	155	**375**		
1986	17,5	2,7	171	232		
1987	**47,4**	**0,1**	**147**	**312**		
1988	6,8	3,5	135	392		
1989	**31,2**	0,3	**124,6**	156		
1990	13,0	**0,6**	178	**337**		
1991	10,0	0,0	242,9	285		
1992	8,9	4,5	151	211		
1993	**32,0**	0,2	**126**	262		
1994	4,5	**0,8**	317	**301**		
1995	25,1	2,4	174	292		
1996	**58,6**	**1,4**	**137**	**352**		
1997	20,2	**1,7**	246	**370**		
1998	17,1	13,5	230	266		
1999	29,5	1,4	189	206		
2000	21,9	4,2	165,6	239		
2001	19,4	**24,7**	184	**88**	–	**–2**
2002	22,0	0,4	210	226	–2	–1
2003	**36,6**	**0,5**	**110**	**324**	**–2**	0
2004	14,9	1,8	259	272	0	–1
2005	8,5	**49,6**	307	**152**	–1	**–2**
2006	17,1	3,6	229	212	–2	–1
2007	11,5	6,5	228	246	–1	–1
2008	**35,5**	4,2	**141,5**	164	**–2**	–2
2009	**42,9**	**2,2**	209	**359**	**–1**	**1**
2010	1,7	1,1	232	257	0	0
2011	12,2	**0,9**	253	**429**	1	–1
2012	19,0	**0,4**	178	**318**	–1	0
2013	16,7	**0,6**	191	268	2	**2**
2014	34,9	6,9	171	156	1	–1
2015	14,4	3,7	366	264	0	–1
2016	14,4	31,6	242	333	0	0
2017	**8,8**	2,1	**149**	338	**2**	0
2018	23,5	0,3	122	257	0	1
2019	**36,8**	**0,3**	**155**	**408**	1	**2**
2020	**9,4**	**1,4**	**103,5**	**397**	**2**	**2**
Среднее:	20,5	4,9	***187***	274,9		

Примечание: * — по данным метеостанции «Комсомольск-на-Амуре» (http://www.pogodaiklimat.ru/history/31561_2.htm); ** — по данным гидрологического поста «Комсомольск-на-Амуре», оценка в баллах по отношению к среднемноголетнему уровню: 2 — близкие к максимальным, 1 — выше

среднего, 0 — средний, –1 — ниже среднего, –2 — близкие к минимальным (http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/post/5024/lev/); прочерк — нет данных; полужирным начертанием выделены связанные пары значений «площади – параметр».

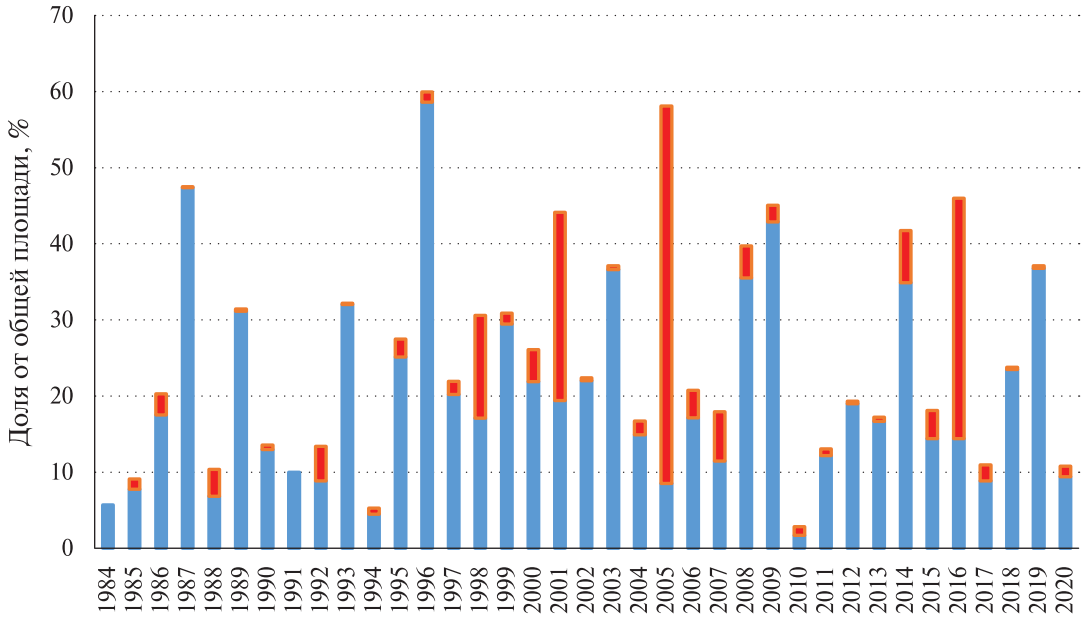

Рис. 3. Площади весенних (синий цвет) и осенних (красный) пожаров на территории Среднеамурской низменности в течение 1984–2020 гг.

Таблица 2. Площади пожаров в различных геосистемах Среднеамурской низменности в 1984–2020 гг.

Тип геосистемы	Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	Доля территории, не затронутая пожарами, %	Площадь пожаров суммарная, тыс. га	Доля от площади типа геосистемы, %	Доля весенних пожаров, %	Среднегодовая площадь пожаров, тыс. га	Доля от площади типа геосистемы, %
1	717,5	*18,5*	22,8	3194,1	445,2	76,9	86,3	12,0
2	754,1	*19,4*	5,5	7967,6	1056,6	78,5	215,3	28,6
3	1166,0	*30,1*	4,1	11659,9	1000,0	77,3	315,1	27,0
4	165,0	*4,3*	36,8	732,1	443,7	85,3	19,8	12,0
5	881,9	*22,7*	2,7	11617,5	1317,4	85,7	314,0	35,6
Всего:	3894,3	*100,0*	10,2	36542,7	938,4	80,7	987,6	25,4

Как уже отмечалось, наибольшее количество пожаров в природных геосистемах на юге Дальнего Востока России наблюдается весной (Sheingauz, 1996). Согласно многолетней статистике, около половины всех лесных пожаров (49,2 %) приходится на это время. В летний период происходит 36,9 % от общего зарегистрированного числа пожаров, обычно связанных с длительными засухами, причём осенью наблюдается не более 13,5 % пожаров (Агеенко, 1969). Но в лугово-болотных и пойменных луговых ландшафтах Среднеамурской низменности пожары ещё больше приурочены к весенним и осенним сезонам. Из *табл. 2* видно, что весенние палы составляют 80,7 % площади, пострадавшей от пожаров, и в основном затрагивают нелесные угодья. Осенние пожары составляют 19,3 %, в то время как в течение лета по результатам анализа данных ДЗЗ не было зарегистрировано ни одного пожара. Отдельные пики осенних пожаров в 2001, 2005 и 2016 гг. были связаны со значительным накоплением горючих материалов после достаточно влажных предыдущих пожароопасных периодов с низкой горимостью (весны текущего и осенью предыдущего годов) (см. *табл. 1*).

Значительные по площадям весенние пожары на территории Среднеамурской низменности повторяются с периодичностью 2–4 года (см. *рис. 3*), что связано с накоплением горючего материала в геосистемах (преимущественно трав) (Argañaraz et al., 2015). При этом анализ сочетания площадей пожаров и гидрометеорологических условий не выявляет значимых зависимостей (см. *табл. 1*, *3*). В качестве гидрометеорологических параметров использовались суммы осадков с ноября по май (снегонакопление в холодный период и осадки весны) для весеннего пожароопасного периода и с августа по октябрь — для осеннего; уровенный режим р. Амур в связи со значительными колебаниями и отсутствием доступных данных о расходах воды оценивался в баллах в зависимости от отклонения уровня воды в зимне-весенний и летне-осенний период от среднемноголетнего уровня (2 балла — значения близкие к максимальным, 1 — выше среднего, 0 — средние, –1 — ниже среднего, –2 — близкие к минимальным).

Таблица 3. Зависимость площадей пожаров в различных типах геосистем в отдельные сезоны от гидрометеорологических параметров

Параметры	Типы геосистем					Вся территория
	1	2	3	4	5	
	Количество осадков					
Весенние пожары – осадки ноябрь – май	–0,27	–0,41	–0,41	–0,26	–0,34	–0,39
Осенние пожары – осадки август – октябрь	–0,44	–0,42	–0,32	–0,41	–0,33	–0,38
	Уровень воды					
Весенние пожары – уровень воды ноябрь – май	–0,46	–0,46	–0,38	–0,47	–0,42	–0,39
Осенние пожары – уровень воды август – октябрь	–0,31	–0,16	–0,18	–0,37	–0,5	–0,40

В отличие от аридной зоны ЕТР, где развитие пожаров определяется во многом наличием сухой мортмассы, а продуктивность геосистем зависит от благоприятности условий увлажнения в предыдущие годы (Шинкаренко и др., 2021, 2022), для луговых геосистем Приамурья характерно ежегодное избыточное увлажнение в летний период, обеспечивающее высокую ежегодную продуктивность биоценозов. В этих условиях количество осадков и уровень воды на поймах рек, хотя и имеют сдерживающее значение для развития пожаров в отдельные годы (см. *табл. 1*), но не достигают уровня определяющих факторов. Анализ *табл. 1* показывает, что большие площади пожаров могут наблюдаться и в годы с неблагоприятными условиями для их развития. Так, в 1995 и 1999 гг. отмечаются большие площади весенних пожаров при среднемноголетнем и даже повышенном количестве осадков осенью предыдущего и весной текущего годов. В 2016 г. наблюдались масштабные осенние пожары при уровнях воды и количестве осадков близких к среднемноголетним.

Корреляционный анализ полученных данных в сочетании с гидрометеорологическими характеристиками показывает слабо выраженную отрицательную зависимость между количеством осадков в весенний период и площадями пожаров в пределах луговых и лесо-луговоболотных геосистем аккумулятивной равнины (см. *табл. 3*).

С осенними осадками в большей степени связано снижение площадей пожаров в лесных и лесо-лугово-болотных геосистемах. При этом ни в одной из пар переменных не наблюдается превышение порога детерминированности в 0,5, что говорит о меньшем влиянии количества осадков и уровня речных вод на горимость луговых и пойменных геосистем умеренного пояса в сравнении с геосистемами аридной зоны, где коэффициенты корреляции достигают величин 0,89 для уровня воды и 0,64 для количества осадков (Шинкаренко и др., 2022)

Наряду со значительными межгодовыми различиями было выявлено, что многие территории подвергались воздействию огня многократно — от 2 до 36 раз в течение 37 лет (*табл. 4*, *рис. 4*, см. с. 171). На территории большей части района исследований с 1984 по 2020 г. пожары повторялись 1–10 раз, однако на некоторых участках (0,4 % площади) кратность про-

горания за эти 37 лет составила 36 раз (см. *табл. 4*, *рис. 4*). Только 10,2 % территории не подвергалось воздействию огня, в том числе 22,8 % лесных земель и 36,8 % залесённых пойм, в то время как лишь 2,7 % пойменных луговых геосистем избежало воздействия огня.

Таблица 4. Площади пожаров различной повторяемости в разных типах геосистем, процент от типа растительности

Повторяемость	Типы геосистем					Вся территория
	1	2	3	4	5	
0	22,8	5,5	4,1	36,8	2,7	10,2
1–10	67,2	51,4	56,1	49,9	37,6	52,2
11–20	9,4	32,6	30,7	11,1	41,3	28,2
21–30	0,6	10,2	8,3	2,3	17,8	9,0
31–36	–	0,4	0,7	–	0,6	0,4
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

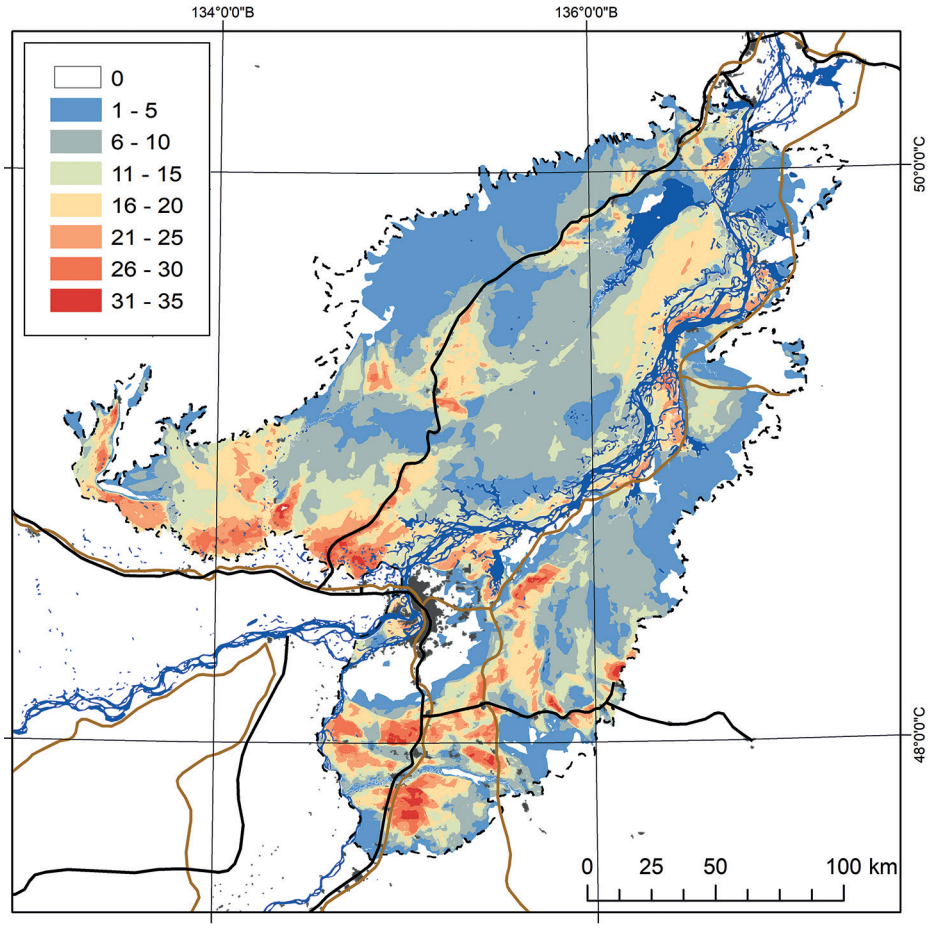

Рис. 4. Повторяемость пожаров в Среднеамурской низменности в период с 1984 по 2020 г. Чёрным пунктиром показаны границы территории; чёрные линии — железные дороги; коричневые линии — основные автомобильные трассы. Тёмно-серая заливка — селитебные зоны

Анализ *табл. 4* показывает, что наиболее интенсивному влиянию пожаров подвержены лесо-лугово-болотные и лугово-болотные геосистемы, а также луговые пойменные комплексы, где на 42,8; 39 и 49,1 % территории за рассматриваемый период пожары наблюдались от 11 до 30 раз, т. е. с периодичностью 1–3 года.

Полученные картографические материалы (см. *рис. 4*) свидетельствуют, что наивысшая горимость наблюдается в наиболее освоенных районах вокруг городских и сельских населённых пунктов с хорошо развитой транспортной инфраструктурой и сельскохозяйственными угодьями (юго-западная и южная части низменности) и территориях, прилегающих к железной дороге и основным автомобильным трассам. Кроме того, пожары часто могут быть вызваны неосторожным обращением с огнём во время охоты, рыбалки и сбора дикорастущих растений. Это определяет высокую повторяемость пожаров вдоль рек и озёр в северной и центральной частях равнины, где эти гидрологические объекты играют роль транспортных артерий. Всё это указывает на антропогенный характер ландшафтных пожаров в пределах Среднеамурской низменности, что подтверждается официальными статистическими данными (https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml) и материалами других авторов (Sheingauz, 1996).

Как уже отмечалось, при оценке масштабов пожаров на территории Российской Федерации и Дальнего Востока России большинство авторов характеризуют прежде всего лесные пожары, тогда как вклад пожаров на нелесных землях в общие масштабы пирогенного воздействия остаётся недооценённым. Это подтверждают официальные статистические данные, согласно которым на нелесные пожары приходится 22 % пожаров в России и 8,9 % — в Хабаровском крае (https://nffc.aviales.ru/ main_pages/index.shtml). В то же время по результатам картирования ландшафтных пожаров по всей Российской Федерации в 2020 г. (https://greenpeace.ru/news/2021/04/06/greenpeace-podschital-ploshhad-vseh-landshaftnyh-pozharov-v-rossii-v-2020-godu/), где помимо лесных учитывались травяные, тростниковые, торфяные, тундровые пожары и сельскохозяйственные палы, на площадь весенних пожаров приходится более половины (52 %) пожаров на территории России и 76,7 % — в пределах Хабаровского края. Согласно этим данным, полученным экспертной дешифровкой данных ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения (Sentinel-2), доля весенних пожаров на территории Среднеамурской низменности весной 2020 г. составила 82,4 %, а площадь гарей достигла 354,5 тыс. га, что сопоставимо с нашими результатами — 349,5 тыс. га. Небольшая разница объясняется тем, что в нашей работе не были учтены пожары в пределах административных границ населённых пунктов.

Выводы

Несмотря на большое количество работ, посвящённых оценке масштабов и особенностей ландшафтных пожаров, этот вопрос, на наш взгляд, остаётся недостаточно изученным для отдельных типов нелесных геосистем, одним из которых представляются влажные луга и болота умеренного пояса. Результаты исследования показывают, что официальная статистика существенно недооценивает площади луговых и лугово-болотных пожаров. Анализ долговременного ряда данных показал, что пожары затрагивают в среднем от 27 до 35 % территории нелесных геосистем в пределах Среднеамурской низменности. А в отдельные годы эти пожары могут охватывать более 50 % нелесной площади. Несмотря на очевидную связь между масштабами пожаров на нелесных землях и количеством осадков, а также гидрологическим режимом рек территории, корреляционный анализ не выявил их однозначной детерминированности, что говорит о важном вкладе иных факторов (близость к населённым пунктам и транспортным линиям, специфика природопользования, накопление сухих горючих материалов и др.), в совокупности определяющих возникновение и развитие ландшафтных пожаров.

Работа выполнялась при частичном финансировании научного проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-55-80022 «Влияние урбанизации и наводнений на химическое загрязнение крупных речных бассейнов (на примере Амура)».

Литература

1. *Агеенко А. С.* Леса Дальнего Востока. М.: Лесная промышленность, 1969. 392 с.
2. *Майорова Л. П.*, *Садыков А. И.*, *Сыч Ю. И.* Оценка выбросов загрязняющих веществ и эмиссии углекислого газа при лесных пожарах (на примере Хабаровского края) // Ученые заметки ТОГУ. 2013. Т. 4. № 4. С. 9–13. http://ejournal.khstu.ru/media/2013/TGU_4_27.pdf.
3. *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. 2021. Т. 18. № 1. С. 149–164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
4. *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.
5. *Argañaraz J.*, *Gavier-Pizarro G.*, *Zak M.*, *Bellis L.* Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina // Fire Ecology. 2015. No. 11. P. 55–73. https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055.
6. *Bartalev S. A.*, *Egorov V. A.*, *Loupian E. A.*, *Uvarov I.* Multiyear circumpolar assessment of the area burnt in boreal ecosystems using SPOT-Vegetation // Intern. J. Remote Sensing. 2007. V. 28. Iss. 6. P. 1397–1404. https://doi.org/10.1080/01431160600840978.
7. *Korontzi S.*, *McCarty J.*, *Loboda T.*, *Kumar S.*, *Justice C.* Global distribution of agricultural fires in croplands from 3 years of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // Global Biogeochemical Cycles. 2006. V. 20. Iss. 2. Art. No. GB2021. https://doi.org/10.1029/2005GB002529.
8. *Kukavskaya E. A.*, *Soja A. J.*, *Petkov A. P.*, *Ponomarev E. I.*, *Ivanova G. A.*, *Conard S. G.* Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption // Canadian J. Forest Research. 2012. V. 43. No. 5. P. 493–506. https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0367.
9. *Kusangaya S.*, *Sithole V. B.* Remote sensing-based fire frequency mapping in a savannah rangeland // South African J. Geomatics. 2015. V. 4. No. 1. P. 36–49. DOI: 10.4314/sajg.v4i1.3.
10. *Li J.*, *Li Y.*, *Bo Y.*, *Xie S.* High-resolution historical emission inventories of crop residue burning in fields in China for the period 1990–2013 // Atmospheric Environment. 2016. V. 138. P. 152–161. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.002.
11. *McCarty J.*, *Krylov A.*, *Prishchepov A.*, *Banach D.*, *Tyukavina A.*, *Potapov P.*, *Turubanova S.* Agricultural fires in European Russia, Belarus, and Lithuania and their impact on air quality, 2002–2012 // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991 / eds. Gutman G., Radeloff V. Cham, Switzerland: Springer Intern. Publ., 2017. P. 193–221. DOI: 10.1007/978-3-319-42638-9_9.
12. *Oliva P.*, *Martín P.*, *Chuvieco E.* Burned area mapping with MERIS post-fire image // Intern. J. Remote Sensing. 2011. V. 32. Iss. 15. P. 4175–4201. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.489062.
13. *Ostroukhov A. V.*, *Klimina E. M.* Survey of Middle Amur lowland terrain transformations based on remote sensing data // Proc. Joint Symp. "Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration". Jakarta, Indonesia, 22 Feb. 2018. Bogor, Indonesia: IKAPI, 2018. P. 123–129.
14. *Poulter B.*, *Christensen N. L.*, *Halpin P. N.* Carbon emissions from a temperate peat fire and its relevance to interannual variability of trace atmospheric greenhouse gases // J. Geophysical Research. 2006. V. 111. Iss. D6. Art. No. D06301. 11 p. https://doi.org/10.1029/2005JD006455.
15. *Romanenkov V.*, *Rukhovich D.*, *Koroleva P.*, *McCarty J.* Estimating black carbon emissions from agricultural burning // Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia / eds. Mueller L., Saparov A., Lischeid G. Book Ser.: Environmental Science and Engineering. Cham, Switzerland: Springer Intern. Publ., 2014. P. 347–364. DOI: 10.1007/978-3-319-01017-5_20.
16. *Sannigrahi S.*, *Pilla F.*, *Basu B.*, *Basu A. S.*, *Sarkar K.*, *Chakraborti S.*, *Joshi P. K.*, *Zhang Q.*, *Wang Y.*, *Bhatt S.* Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches // Science of the Total Environment. 2020. V. 725. Art. No. 138331. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138331.
17. *Sheingauz A.* The role of fire in forest cover, structure, and dynamics in the Russian Far East // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / eds. Goldammer I. G., Furyaev V. V. Book Ser.: Forestry Sciences. Dodrecht; Boston; L.: Kluwer Academic Publ., 1996. V. 48. P. 186–190. DOI: 10.1007/978-94-015-8737-2_13.
18. *Tishkov A. A.* Fires in Steppes and Savannas // Natural Disasters. V. 2 / Encyclopedia of Life Support Systems; eds. Kotlyakov V. M. Oxford, UK: EOLSS Publ., 2010. P. 144–158.
19. *Vivchar A. V.*, *Moiseenko K. B.*, *Pankratova N. V.* Estimates of carbon monoxide emissions from wildfires in Northern Eurasia for air quality assessment and climate modeling // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2010. No. 46. P. 281–293. https://doi.org/10.1134/S0001433810030023.

Assessing the extent of landscape fires in the Middle Amur Lowland using long-term satellite data time series

A. V. Ostroukhov

Institute for Water and Environmental Problems FEB RAS, Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: Ostran2004@bk.ru

Studies of pyrogenic transformation of the landscapes of the temperate zone of the Russian Federation have traditionally focused on analyzing the impact of forest fires. However, the extent of landscape fires in non-forest geosystems, where they are also widespread, is still poorly understood. An assessment of the long-term average scale, recurrence, and spatial specificity of landscape fires in non-forest geosystems of the Middle Amur Lowland, in the Russian Federation's Khabarovsk Territory, was carried out using an analysis of long-term series of remote sensing data of the Earth of medium spatial resolution (Landsat-5, -7, -8). According to the findings, fires affect 25.4 % of the total area of the study region on average each year, but in some years, this figure exceeds 50 %. Large areas of the territory were exposed to repeated fire, from 2 to 36 times in 37 years. During this period, fires covered more than 38 million ha, accounting for 938 % of the total land area of the Middle Amur lowland. Forest fires accounted for only 12 % of this area in this case. At the same time, fires passed through meadow and meadow-mire geosystems, as well as floodplain areas (the area of fires in them equals 1317.4 % of the total area of these geosystems). The spatial distribution of fires in the territory is related not only to the degree of development of the territory and transportation infrastructure, but also to the specifics of nature management, and are frequently caused by hunting, fishing, and collecting wild plants, which determines the high frequency of fires along rivers and lakes in the northern and central parts of the plain. A comparison of the data obtained with the materials of automatic mapping of fires and their consequences reveals that the methods used in automatic mapping of burns are insufficiently accurate, resulting in a significant underestimation of the area of fires in non-forest lands.

Ключевые слова: landscape fires, remote sensing data, Landsat, non-forest geosystems, Middle Amur Lowland

Accepted: 18.10.2022
DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-164-175

References

1. Ageenko A. S., *Lesa Dal'nego Vostoka* (Forests of the Far East), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1969, 392 p. (in Russian).
2. Maiorova L. P., Sadykov A. I., Sych Y. I., Assessment of emissions and carbon dioxide emissions in forest fires (illustrated Khabarovsk territory), *Uchenye zametki TOGU*, 2013, Vol. 4, No. 4, pp. 9–13 (in Russian), http://ejournal.khstu.ru/media/2013/TGU_4_27.pdf.
3. 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, Vol. 18, No. 1, pp. 149–164 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
4. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N., Ivanov N. M., Spatio-temporal analysis of the combustibility of floodplain landscapes of the Lower Volga, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 1, pp. 143–157 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
5. Argañaraz J., Gavier-Pizarro G., Zak M., Bellis L., Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina, *Fire Ecology*, 2015, No. 11, pp. 55–73, https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055.
6. Bartalev S. A., Egorov V. A., Loupian E. A., Uvarov I., Multiyear circumpolar assessment of the area burnt in boreal ecosystems using SPOT-Vegetation. *Intern. J. Remote Sensing*, 2007, Vol. 28, Issue 6, pp. 1397–1404, https://doi.org/10.1080/01431160600840978.
7. Korontzi S., McCarty J., Loboda T., Kumar S., Justice C., Global distribution of agricultural fires in croplands from 3 years of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data, *Global Biogeochemical Cycles*, 2006, Vol. 20, Issue 2, Art. No. GB2021, https://doi.org/10.1029/2005GB002529.

8. Kukavskaya E. A., Soja A. J., Petkov A. P., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Conard S. G., Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption, *Canadian J. Forest Research*, 2012, Vol. 43, No. 5, pp. 493–506, https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0367.
9. Kusangaya S., Sithole V. B., Remote sensing-based fire frequency mapping in a savannah rangeland. *South African J. Geomatics*, 2015, Vol. 4, No. 1, pp. 36–49, DOI: 10.4314/sajg.v4i1.3.
10. Li J., Li Y., Bo Y., Xie S., High-resolution historical emission inventories of crop residue burning in fields in China for the period 1990–2013, *Atmospheric Environment*, 2016, Vol. 138, pp. 152–161, DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.002.
11. McCarty J., Krylov A., Prishchepov A., Banach D., Tyukavina A., Potapov P., Turubanova S., Agricultural fires in European Russia, Belarus, and Lithuania and their impact on air quality, 2002–2012, In: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*, Gutman G., Radeloff V. (eds.), Cham, Switzerland: Springer Intern. Publ., 2017, pp. 193–221, DOI: 10.1007/978-3-319-42638-9_9.
12. Oliva P., Martín P., Chuvieco E., Burned area mapping with MERIS post-fire image. *Intern. J. Remote Sensing*, 2011, Vol. 32, Issue 15, pp. 4175–4201, https://doi.org/10.1080/01431161.2010.489062.
13. Ostroukhov A. V., Klimina E. M., Survey of Middle Amur lowland terrain transformations based on remote sensing data, *Proc. Joint Symp. Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration*, Jakarta, Indonesia, 22 Feb. 2018, Bogor, Indonesia: IKAPI, 2018, pp. 123–129.
14. Poulter B., Christensen N. L., Halpin P. N., Carbon emissions from a temperate peat fire and its relevance to interannual variability of trace atmospheric greenhouse gases. *J. Geophysical Research*, 2006, Vol. 111, Issue D6, Art. No. D06301, 11 p., https://doi.org/10.1029/2005JD006455.
15. Romanenkov V., Rukhovich D., Koroleva P., McCarty J., Estimating black carbon emissions from agricultural burning, In: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, *Book Ser.: Environmental Science and Engineering,* Mueller L., Saparov A., Lischeid G. (eds.), Cham, Switzerland: Springer Intern. Publ., 2014, pp. 347–364, DOI: 10.1007/978-3-319-01017-5_20.
16. Sannigrahi S., Pilla F., Basu B., Basu A. S., Sarkar K., Chakraborti S., Joshi P. K., Zhang Q., Wang Y., Bhatt S., Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches. *Science of the Total Environment*, 2020, No. 725, Art. No. 138331, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138331.
17. Sheingauz A., The role of fire in forest cover, structure, and dynamics in the Russian Far East, In: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*, *Book Ser.: Forestry Sciences*, Goldammer I. G., Furyaev V. V. (eds.), Dodrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publ., 1996, Vol. 48, pp. 186–190, DOI: 10.1007/978-94-015-8737-2_13.
18. Tishkov A. A., Fires in Steppes and Savannas, *Natural Disasters*, *Vol. 2*, Encyclopedia of Life Support Systems, Kotlyakov V. M. (ed.), Oxford, UK: EOLSS Publ., 2010, pp. 144–158.
19. Vivchar A. V., Moiseenko K. B., Pankratova N. V., Estimates of carbon monoxide emissions from wildfires in Northern Eurasia for air quality assessment and climate modeling. *Izvestiya*, *Atmospheric and Oceanic Physics*, 2010, No. 46, pp. 281–293, https://doi.org/10.1134/S0001433810030023.