

УДК 504.064

Загрязнение атмосферы от пожаров осушенных торфяников левобережья Томской области

М.Н. Алексеева¹, Е.А. Головацкая², И.Г. Яценко^{1*}

¹Институт химии нефти СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 3

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634021, Томск, пр. Академический, 10/3

Поступила в редакцию 2.07.2019 г.

В созданной геоинформационной системе проводится анализ загрязнения атмосферы от пожаров осушенных торфяников Томской обл. на территориях Бакчарского и Шегарского лесничеств. Вычислены параметры горизонтального и вертикального возмущения в слое атмосферы от пожара на участке Иксинского болота, которые включают максимальный вертикальный размер конвективной колонки (смесь с воздухом продуктов полного и неполного сгорания топлива, поднимающаяся над очагом пожара), тепловыделение и скорость распространения аэрозольного облака продуктов горения.

На основе геоданных и данных по биомассе растительного покрова участка Иксинского болота рассчитаны объемы выбросов загрязняющих веществ от пожара. Показано, что в атмосферу поступило значительное количество оксида углерода, диоксида углерода, метана.

В настоящее время для данного участка характерно восстановление растительного покрова, рассчитана положительная динамика вегетационного индекса NDVI. Накопление биомассы на участке Иксинского болота, наличие сухостоя, а также сети дорог свидетельствует о высоких рисках возгорания растительности и торфа и выброса в атмосферу загрязняющих веществ.

Ключевые слова: пожары, гари, космические снимки, геоданные, леса, болота, атмосфера, загрязняющее вещество; fires, burnt areas, satellite imagery, geodata, forests, swamps, atmosphere, pollutant.

Введение

По данным [1], ежегодно на части земель лесного фонда России, общая площадь которого 1 144,8 млн га, происходят пожары. Так, в 2017 г. было зарегистрировано 10 226 лесных пожаров общей площадью 3 208,6 тыс. га [1]. На торфяниках, площадь которых в России вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями составляет более 370 млн га, в наиболее засушливые годы в результате крупных пожаров выгорают сотни тысяч кубометров торфяных месторождений [2] и выделяется значительное количество дыма и токсичных газов — метана, углекислого и угарного газов, формальдегида, оксидов азота, ароматических углеводородов, бензапирена.

Вследствие лесных пожаров происходят потеря углерода, накопленного растительностью, и эмиссия парниковых газов в атмосферу. При подъеме дыма на 2–3 км крупные лесные пожары сопровождаются интенсивными тепловыми возмущениями в атмосфере и образованием обширных зон задымления и загазованности продуктами горения (окисью и двуокисью углерода, оксидами азота, твердыми частицами и другими химическими соединениями). Диоксид

углерода вносит наибольший вклад в создание «парникового эффекта», что способствует повышению температуры атмосферы, а дымовой аэрозоль способен экранировать солнечную радиацию. Выход дымового аэрозоля при сгорании лесных горючих материалов — 2...5% от общей массы продуктов горения (угля, золы, газо-аэрозолей) [3].

В настоящее время за рубежом и в России развиваются методы обнаружения очагов пожаров, оценки степени повреждения пожарами и картографирования сгоревших площадей по доступным в интернете космическим снимкам (КС) Landsat-8, MSI (Sentinel 2), MODIS [4–9]. КС Landsat-8 позволяют оценивать состояние растительного покрова труднодоступных лесоболотных комплексов Западной Сибири [10–12].

Цель настоящей работы заключается в оценке загрязнения атмосферы от пожаров на осушенных торфяниках Томской обл. Решаются следующие задачи: 1) создание геоинформационных систем (ГИС) с тематическими слоями на основе геоданных пожаров и гарей в Бакчарском и Шегарском лесничествах; 2) расчет параметров горизонтального и вертикального распространения продуктов горения и оценка выбросов загрязняющих веществ от пожара 1998 г. на осушенном Иксинском болоте; 3) оценка послепожарного восстановления растительного покрова на гари участка Иксинского болота и риска повторного возгорания.

* Мария Николаевна Алексеева (amn@ipc.tsc.ru); Евгения Александровна Головацкая (golovatskaya@imces.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

Объекты и методы исследования

Крупные пожары на ландшафтах южной тайги Западно-Сибирской равнины могут возникнуть за 20–30 дней с минимальными осадками или при их отсутствии в весенне-летнее время. Лучше всего горят спелые и перестойные хвойные и лиственно-хвойные леса, необлесившиеся вырубki и осушенные болота с накопленной органической массой в лесной подстилке и торфе [13, 14]. Как правило, пожары торфяников случаются по вине посетителей леса, охотников, туристов и начинаются чаще всего вдоль дорог и вблизи населенных пунктов.

Для анализа пожаров лесоболотных комплексов авторами создана геоинформационная система в пакете ArcMap 10.1, которая содержит следующие данные: карту растительного покрова восточной части Томской обл., составленную авторами статьи по итогам дешифрирования четырех КС Landsat-8 (съемка 13–15 июня 2014 г.); цифровую карту растительности – продукт MCD12Q1 за 2011 г.; продукт MOD13Q1 с картами значений коэффициента NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) за 2000–2016 гг.; векторные слои границ гарей 2003–2017 гг. на территориях Бакчарского и Шегарского лесничеств из глобального атласа пожаров [15];

электронный каталог очагов пожаров в Шегарском лесничестве за 1980–2017 гг. и в Бакчарском лесничестве за 1989–2016 гг. на основе выписки из фондовых материалов Департамента лесного хозяйства Томской обл.; актуальную информацию с интернет-ресурса <http://fires.ru> (Всемирная карта пожаров) [16].

По данным Департамента лесного хозяйства Томской обл., на территории Бакчарского лесничества за 1989–2016 гг. наибольшими по выгоревшей площади были пожары в 1989, 1996, 1999, 2000, 2004, 2012, 2016 гг. (рис. 1). Как видно из рисунка, максимальная выгоревшая территория составила 129 км² в 1989 г. и 7,2 км² в 1996 г. С 2000 до 2016 г. леса и лесные болота выгорели на площади 59,5 км². За этот период выделяются пожары в 2012 и 2016 гг. (площади 45,4 и 7,2 км²), в остальные годы площади гарей изменялись от 0,1 до 7,2 км². В 1998 г. не было зафиксировано ни одного пожара.

На территории Шегарского лесничества площади, пройденные пожарами за 1980–2017 гг., в сумме составили 104,4 км² (рис. 2). Самый большой пожар зафиксирован в 1998 г., площадь гари – 31,46 км². С 2000 до 2017 г. леса и лесные болота выгорели на площади 22,7 км². Наибольшие площади гарей в Шегарском лесничестве были зафиксированы в 2008 (7,3 км²), 2009 (4,6 км²) и 2011 гг. (4,2 км²).

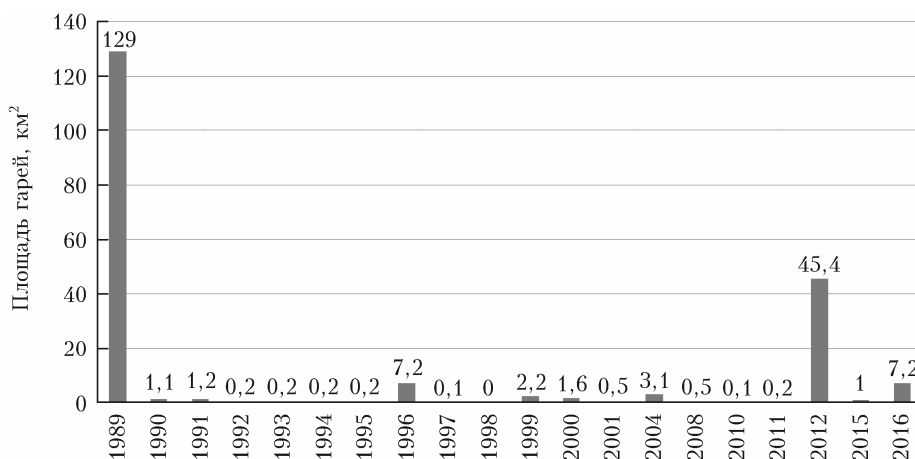


Рис. 1. Динамика площадей гарей лесоболотных комплексов на территории Бакчарского лесничества с 1989 по 2016 г.

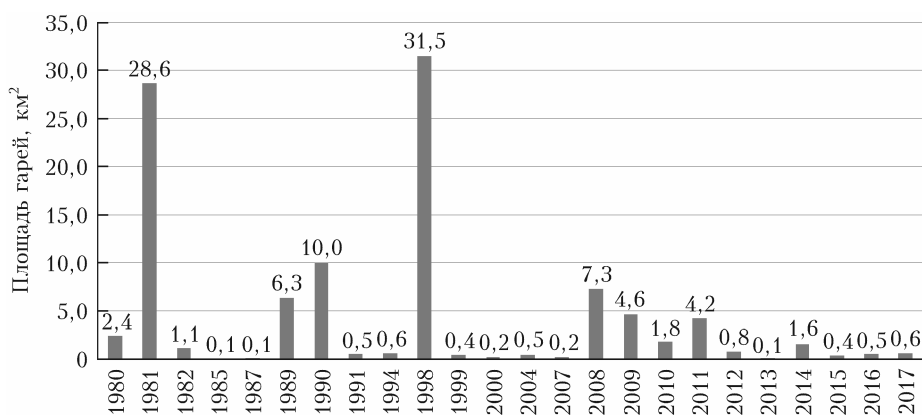


Рис. 2. Динамика площадей гарей лесоболотных комплексов на территории Шегарского лесничества с 1980 по 2017 г.

На рис. 3 приведена карта очагов и гарей Бакчарского и Шегарского лесничеств. Наибольшая территория гарей не лесных площадей (открытых участков и травяных экосистем) расположена в Шегарском р-не, это можно объяснить большим количеством населенных пунктов и развитой сетью автодорог.

В юго-восточной части Томской обл. повышенной пожароопасностью характеризуются осушенные болота (рис. 3).

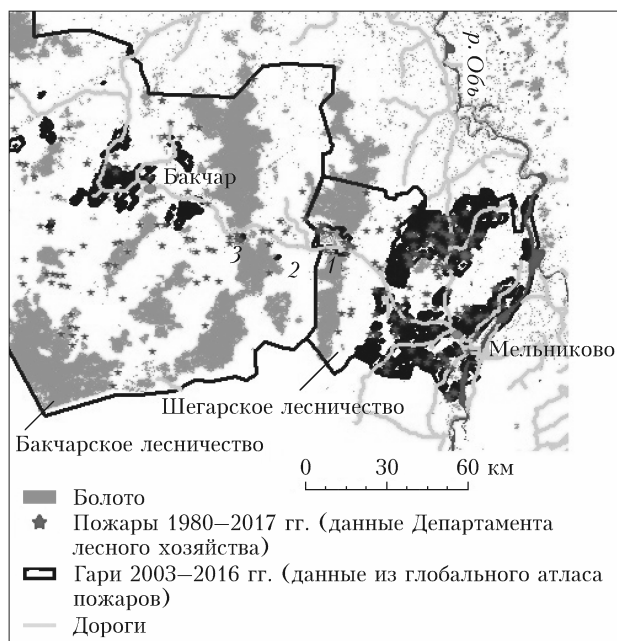


Рис. 3. Фрагмент карты территорий со слоями геоданных Бакчарского и Шегарского лесничеств: 1 – гарь от пожара 1 августа 1998 г. на торфянике осушенного Иксинского болота (Шегарский р-н) и в прилегающих к нему заболоченных и автоморфных лесах общей площадью 37 км²; 2, 3 – гари от пожаров 29 июня 2006 г. площадью 0,6 км² и 16 августа 2016 г. площадью 3 км² в южной части Бакчарского болота (Бакчарский р-н)

Рассмотрим участок осушенного Иксинское болота (рис. 3, 1) более подробно. Мелиоративные работы в междуречье Бакчар–Икса и Икса–Шегарка проводились в 1973–1979 гг. По данным [17, 18], был осушен участок площадью 77 км² на Бакчарском болоте и участок 70 км² на Иксинском. В настоящее время многие осушенные болота Томской обл. не используются в производственных целях и являются пожароопасными из-за возможного возгорания сухого торфа вследствие засушливого периода и понижения уровня болотных вод [17, 18]. По данным [19], в результате пожара в засушливом 1998 г. на Иксинском болоте на площади 37 км² был полностью уничтожен растительный покров с приповерхностной толщей торфа, а также почвенный покров в заболоченных и автоморфных лесах. На рис. 4 приведен фрагмент КС (дата съемки 13 июля 2007 г.) с выделенной территорией гари на участке Иксинского болота. Контур гари создан на основе векторного слоя очагов пожаров [15].

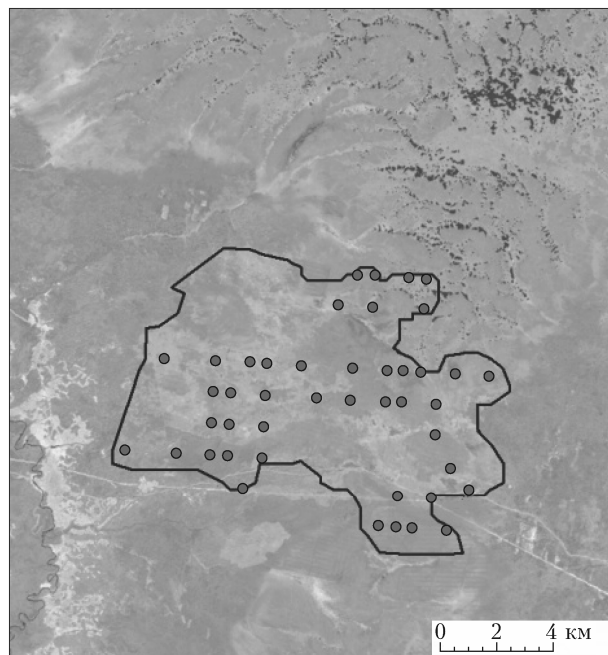


Рис. 4. Космический снимок Landsat-8 от 13 июля 2007 г. с контуром гари на Иксинском болоте; точки – очаги возгораний в августе 1998 г.

На основе методики [20] рассчитаны параметры горизонтального и вертикального распространения продуктов горения при пожаре. Методы оценки объемов эмиссий углерода, углекислого и других парниковых газов основаны на комплексном анализе данных выгоревших территорий: показателей степени повреждения растительности и количества сгорающих растительных материалов [21–25], дым от которых представляет собой аэрозольно-газовую смесь оксидов углерода, азота, серы и частиц сажи, золы, пепла, смолы.

Для оценки общего объема выбросов загрязняющих веществ газовой смеси от пожара 1998 г. на Иксинском болоте масса M_i каждого компонента аэрозоля определена по формуле [21]:

$$M_i = m \cdot K_{\alpha_i},$$

где m – масса сгорающих растительных материалов; K_{α} – значения коэффициентов эмиссии для каждого из компонентов дымового аэрозоля из методики [21]. Всего при сгорании 1 кг растительных горючих материалов в атмосферу выбрасывается 135 г оксида углерода, 94 г углекислого газа, 0,4 г оксида азота, 1,4 г сажи, 75 г метана.

Результаты исследования

По данным [15], пожар начался 1 августа 1998 г. на окраине Иксинского болота, а затем двигался по фронту с максимальной скоростью 17 м/мин. Тип пожара – огненный шторм на сухом мелкозалежном залесенном торфянике. По методике, приведенной в [20], нами вычислен максимальный уровень тепловыделения при пожаре – $2,5 \cdot 10^5$ Вт/м²,

при этом величина фронта составляла ~3400 м. Вычисленные параметры горизонтального и вертикального возмущения в слое атмосферы от пожара на участке Иксинского болота включают максимальный вертикальный размер конвективной колонки (смесь с воздухом продуктов полного и неполного сгорания топлива, поднимающаяся над очагом пожара), тепловыделение и скорость распространения аэрозольного облака продуктов горения.

Рассчитано, что за счет одновременного горения площади радиусом 3400 м тепловая мощность пожара составила $9 \cdot 10^{12}$ Вт. При этом максимальный вертикальный размер конвективной колонки составил 16 км со скоростью потока аэрозоля в конвективной струе 1 м/с, горизонтально распространялось аэрозольное облако продуктов горения на 10 км со скоростью 6 м/с.

В качестве растительных горючих материалов участка Иксинского болота рассматривались запасы древесного яруса и надземной фитомассы травяно-кустарничкового и мохового ярусов различных типов микроландшафтов. В [19] представлены типы микроландшафтов и их площади, пройденные пожаром 1998 г. На основе [19, 26–29] вычислен средний запас фитомассы для каждого микроландшафта (табл. 1). Видно, что в зависимости от наличия и состава древесного яруса запасы фитомассы варьируются в широких пределах, от 0,49 до 5,56 кг/м².

Площади сгоревших территорий перечисленных микроландшафтов (в соответствии с табл. 1) и массы сгораемых и выбрасываемых веществ приведены в табл. 2. Установлено, что по массе выбросов каждого компонента дымовой газовой смеси преобладает оксид углерода. Наши расчеты не противоречат литературным данным и сопоставимы с расчетами других авторов для территорий различных регионов России [22–25].

Получено, что в результате пожара в 1998 г. на участке Иксинского болота выгорело 121956,5 т растительных горючих материалов и поступило в атмосферу 16464,1 т оксида углерода (СО), 11463,9 т диоксида углерода (СО₂), 49,4 т оксидов азота (NO_x), 170,7 т сажи, 9146,7 т метана (СН₄) и 122 т озона (О₃). Максимальные величины сго-

Таблица 1

Запасы фитомассы древесного, травяно-кустарничкового и мохового ярусов различных типов болот, слабозаболоченных и автоморфных лесов на участке Иксинского болота

№	Микроландшафт	Запас фитомассы, кг/м ²
1	Согра	3,06
2	Сфагново-осоковые болота (топи)	0,49
3	Грядово-мочажинные болота	0,48
4	Сфагново-сосновое болото (низкий рям)	1,3
5	Сфагново-сосновое болото (рослый рям)	5,5
6	Заболоченные сфагновые сосновые леса	3,06
7	Слабозаболоченные сфагновые леса смешанного состава	5,41
8	Слабозаболоченные зеленомошные и болотнотравные леса	5,56
9	Автоморфные леса	9,2

раемых и выбрасываемых в атмосферу веществ получены для слабозаболоченных сфагновых лесов смешанного состава, минимальные — для грядово-мочажинных комплексов (табл. 2).

Поступление в атмосферный воздух загрязняющих веществ от крупных пожаров зачастую превышает выбросы от предприятий. Так, по данным Облкомприроды, в 2001 г. в Шегарском районе от 34 предприятий в атмосферу поступило около 3 тыс. т загрязняющих веществ, из них 0,612 тыс. т оксида углерода, 0,904 тыс. т углеводорода, 0,08 тыс. т оксида азота [30], что гораздо меньше объемов выбросов по данным табл. 2.

Результаты расчетов отражают неблагоприятное влияние пожаров на качество атмосферного воздуха. Крупные лесоболотные пожары вносят тепловое и аэрозольное возмущение в нижние слои атмосферы. В местах пожаров в воздухе заметно возрастают концентрации парниковых газов и других загрязняющих веществ, особенно оксида углерода, что ведет к усилению «парникового эффекта».

Определим риск повторного возгорания на участке Иксинского болота по вычисленным данным восстановления биомассы растительного покрова.

Таблица 2

Вычисленные данные выбросов вредных веществ в атмосферу при пожаре 1998 г. на участке Иксинского болота

Номер микроландшафта	Площадь, км ²	Масса сгораемых органических материалов, т	Выброс загрязняющих веществ, т						
			СО	СО ₂	NO _x	Сажа	Дым (ультрадисперсные частицы SiO ₂)	СН ₄	О ₃
1	0,4	1224,0	165,2	115,1	0,5	1,7	67,3	91,8	1,2
2	2,5	1247,5	168,4	117,3	0,5	13,7	68,6	93,6	1,2
3	1,0	480,0	64,8	45,1	0,2	5,3	26,4	36,0	0,5
4	5,5	1300,0	175,5	122,2	0,5	14,3	71,5	97,5	1,3
5	7,0	5500,0	742,5	517,0	2,2	7,7	302,5	412,5	5,5
6	5,8	17748,0	2396,0	1668,3	7,2	24,8	976,1	1331,1	17,7
7	6,5	35165,0	4747,3	3305,5	14,2	49,2	1934,1	2637,4	35,2
8	5,7	31692,0	4278,4	2979,0	12,8	44,4	1743,1	2376,9	31,7
9	3,0	27600,0	3726,0	2594,4	11,2	38,6	1518,0	2070,0	27,6
Всего	37,4	121956,5	16464,1	11463,9	49,4	170,7	6707,6	9146,7	122,0

Для оценки восстановления биомассы на исследуемом участке мы использовали продукт MOD13Q1, представляющий собой карты значений коэффициента NDVI. Этот продукт доступен в Интернете, рассчитан по данным MODIS за 16-дневный период и имеет пространственное разрешение 250 м. Значения NDVI отражают запасы зеленой фитомассы (травы, листьев кустарников и кустарничков, мхов) и содержание хлорофилла в растениях, варьируются от -1 до $+1$; вода, обнаженный субстрат и почва имеют нулевые значения и ниже, растительный покров – положительные. Значение коэффициента NDVI рассчитывается по формуле

$$NDVI = (ИК - К) / (ИК + К),$$

где ИК и К – коэффициенты отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра.

В целом в 2000 г. наблюдаются низкие NDVI для всех точек на гари участка Иксинского болота (рис. 5) из-за пожара 1998 г. Наибольшие значения NDVI характерны для слабозаболоченных зеленомошных и болотноотравных лесов (рис. 5, 1), по мере увеличения степени гидроморфности значения NDVI снижаются, за исключением сфагново-осокового болота, на котором после пожара в результате небольшого подсушивания верхнего слоя, по-видимому, увеличились запасы фитомассы осок.

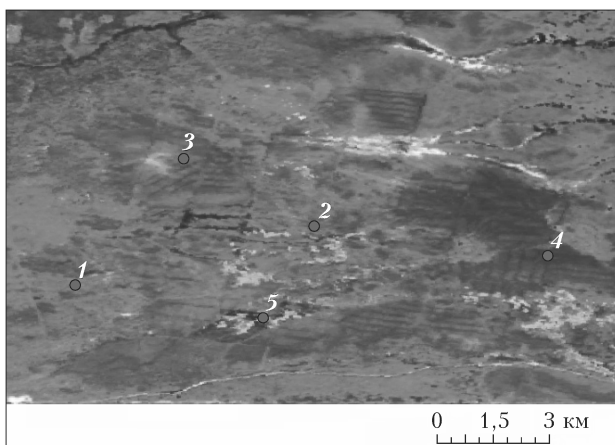


Рис. 5. Космический снимок Landsat-8; цифрами обозначены точки наблюдений на гари участка Иксинского болота: 1 – слабозаболоченные зеленомошные и болотноотравные леса; 2 – низкий ям; 3 – грядово-мелкомочажинное болото; 4 – сухостойные гари; 5 – сфагново-осоковое болото

С 2005 г. наблюдается динамика увеличения NDVI во всех точках (рис. 6). Для точки 1 значения NDVI к 2015–2016 гг. возросли до 0,8, что свидетельствует о формировании смешанного подроста на окраине гари. Также наблюдается увеличение значений NDVI в низком яме (точка 2) – от 0,57 в 2000 г. до 0,7 в 2015 г. Совершенно иная динамика значений NDVI наблюдалась для сфагново-осоковых болот (точка 5): в первые годы после пожара значение NDVI было 0,65 (2000 г.), затем, вследствие постепенного обводнения, к 2003 г. сни-

зилось до 0,56, далее, по мере восстановления водного режима и растительного покрова, вновь достигло 0,65 за 2015 г.

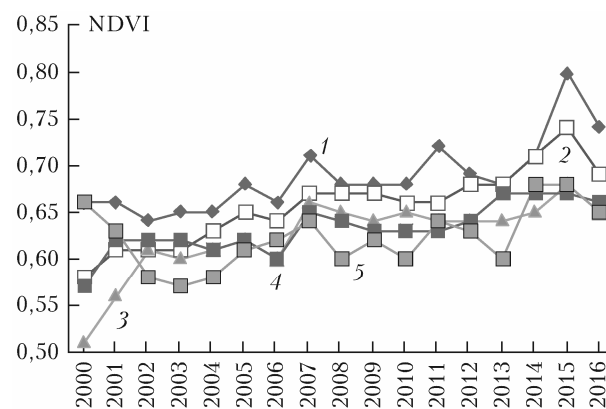


Рис. 6. Динамика значений NDVI в точках наблюдений 1–5 участка на гари Иксинского болота

В настоящее время древесный ярус на выгоревших участках слабозаболоченных лесов Иксинского болота разрежен, представлен березой и сосной высотой 8–10 м с большим количеством сухостоя. Развита подрост из березы и сосны (высота 2–5 м). Кустарничковый ярус состоит преимущественно из багульника и кассандры, также встречается голубика, клюква. Моховой покров развит мозаично, его проективное покрытие составляет ~60%.

Заключение

С помощью созданной ГИС достоверно анализируются характеристики пожаров и гарей на территориях Бакcharского и Шегарского лесничеств. Рассчитано, что за счет одновременного горения территории радиусом 3400 м общая тепловая мощность пожара участка Иксинского болота составила $9 \cdot 10^{12}$ с максимальной высотой аэрозольного облака 16 км.

Рассмотрен выброс загрязняющих веществ от пожара лесоболотных комплексов в междуречье Икса-Шегарка в 1998 г. Получено, что на участке Иксинского болота в 1998 г. при горении 121956,5 т растительных горючих материалов было выброшено в атмосферу 16464,1 т оксида углерода, 11463,9 т диоксида углерода, 49,4 т оксидов азота, 170,7 т сажи, 9146,7 т метана и 122 т озона. С использованием индекса NDVI выявлено, что биомасса растительного покрова на гари участка Иксинского болота восстанавливается. После пожара в 2000 г. значения NDVI микроландшафтов составили 0,5–0,66, а в 2015–2016 гг. повысились до 0,8–0,65. Накопление биомассы и наличие сухостоя, а также присутствие сети дорог свидетельствует о риске повторного возгорания на участке Иксинского болота, а также на других осушенных территориях, следовательно, возможен выброс в атмосферу загрязняющих веществ. Созданная ГИС и используемый метод расчета выбросов вредных веществ в атмосферу

при пожаре перспективны для дальнейших мониторинговых исследований лесоболотных территорий Томской обл.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (Проект V.46.2.1), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

1. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году»*. М.: Минприроды России; Кадастр, 2018. 888 с.
2. *Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне: материалы междунар. науч.-практ. семинара*. Хабаровск, Россия, 9–12 сентября 2003 г. М.: Алекс, 2004. 208 с.
3. *Иванов А.В.* Газоаэрозольные эмиссии при лесных низовых пожарах на примере сосняков лишайниково-зеленомошных сымской равнины): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Красноярск: УОП ИЛ СО РАН, 2003. 18 с.
4. *Социлова Е.Н., Еришов Д.В.* Картографирование и оценка поврежденных пожарами лесов и пожарных эмиссий углерода по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2007. Т. 4, № 2. С. 322–331.
5. *Стыцenco Ф.В., Барталев С.А., Иванова А.А., Лупян Е.А., Сычугов И.Г.* Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13, № 6. С. 289–298.
6. *Барталев С.А., Стыцenco Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // *Лесоведение*. 2015. № 2. С. 83–94.
7. *Hawbaker T.J., Vanderhoof M.K., Beal Yen-Ju, Takacs J.D., Schmidt G.L., Falgout J.T., Williams B., Fairaux N.M., Caldwell M.K.* Mapping burned areas using dense time-series of Landsat data // *Remote Sens. Environ.* 2017. V. 198. P. 504–522.
8. *Giglio L., Schroede W.R., Justice C.O.* The collection 6 MODIS activefire detection algorithm and fire products // *Remote Sens. Environ.* 2016. V. 178. P. 31–41.
9. *Vanderhoof M.K., Fairaux N.M., Beal Yen-Ju, Hawbaker T.J.* Validation of the USGS Landsat Burned Area Essential Climate Variable (BAECV) across the conterminous United States // *Remote Sens. Environ.* 2017. V. 198. P. 393–406.
10. *Алексеева М.Н., Яценко И.Г., Перемитина Т.О.* Тепловое воздействие на нефтедобывающие территории Томской области при сжигании попутного нефтяного газа // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15, № 5. С. 52–60.
11. *Алексеева М.Н., Головацкая Е.А., Яценко И.Г., Дюкарев Е.А.* Геоинформационная оценка сгоревших территорий левобережья Томской области // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. ст. по материалам IX Всерос. науч.-практ. конф.* Воронеж, 27 сентября 2018 г. С. 6–8.
12. *Дюкарев Е.А., Алексеева М.Н., Головацкая Е.А.* Исследование растительного покрова болотных экосистем по спутниковым данным // *Исследование Земли из космоса*. 2017. № 2. С. 1–14.
13. *Евсеева Н.С.* География Томской области (Природные условия и ресурсы). Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. 223 с.
14. *Барановский Н.В.* Влияние антропогенной нагрузки и грозовой активности на вероятность возникновения лесных пожаров // *Сибир. эколог. журн.* 2004. № 6. С. 835–842.
15. *Глобальный атлас пожаров* [Электронный ресурс]. URL: <https://daac.ornl.gov> (дата обращения: 11.02.2019).
16. *Спутниковая карта очагов лесных пожаров на территории России, стран СНГ, Европы и Азии с указанием даты и времени обнаружения, категории сложности, вероятности распространения* [Электронный ресурс]. URL: <https://fires.ru> (дата обращения: 11.02.2019).
17. *Гашкова Л.П., Синюткина А.А.* Оценка трансформации осушенного верхового болота (на примере участка Бакчарского болотного массива) // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2015. № 1 (29). С. 164–179.
18. *Хакимов И.Р., Синюткина А.А.* Комплексная система оценки пожароопасности заболоченных территорий (на примере Шегарского района Томской области) // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2014. Т. 16, № 1. С. 688–691.
19. *Базанов В.А., Егоров Б.А., Лыготин В.А., Скугарев А.А.* Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья рек Икса-Шегарка) // *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития*. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. С. 190–195.
20. *Копылов Н.П., Хасанов И.Р.* Прогнозирование параметров загрязнения атмосферы при крупных пожарах // *Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций*. М.: Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России, 2003. С. 302–308.
21. *Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров* [Электронный ресурс] / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. URL: <https://pandia.ru/text/79/451/14615.php> (дата обращения: 11.02.2019).
22. *Еришов Д.В., Ковганко К.А., Социлова Е.Н.* ГИС-технология оценки пирогенных эмиссий углерода по данным Terra-Modis и государственного учета лесов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Т. 2, вып. 6. С. 365–372.
23. *Еришов Д.В., Барталев С.А., Исаяев А.С., Социлова Е.Н., Стыцenco Ф.В.* Метод оценки пожарных эмиссий парниковых газов с использованием спутниковых данных: результаты применения для лесов России в 21 веке // *Докл. VI Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии»*. Москва, 2016. С. 12–17.
24. *Майорова Л. П., Садыков А. И., Сыч Ю. И.* Оценка выбросов загрязняющих веществ и эмиссии углекислого газа при лесных пожарах (на примере Хабаровского края) [Электронный ресурс] // *Ученые заметки ТОГУ*. 2013. Т. 4, № 4. С. 9–13. URL: <http://ejournal.khstu.ru/> (дата обращения: 11.01.2019).
25. *Трофимова Н.В., Сухинин А.И., Дубровская О.А.* Дистанционная оценка дымовых эмиссий от крупных лесных пожаров // *Вестн. сибир. гос. аэрокосм. ун-та им. академика М.Ф. Решетнева*. 2008. № 1. С. 65–69.
26. *Головацкая Е.А.* Биомасса и продукция древесного яруса сосново-кустарничково-сфагновых болот южной тайги Западной Сибири // *Лесоведение*. 2017. № 2. С. 102–110.
27. *Головацкая Е.А.* Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южнотаежной подзоны За-

- падной Сибири // Журн. сибир. федерального ун-та. Сер.: биология. 2009. Т. 2, № 1. С. 38–53.
28. *Лесохозяйственный* регламент Бакчарского лесничества Томской области утвержден приказом Департамента лесного хозяйства Томской области от 31.07.2014 № 65 [Электронный ресурс]. URL: <https://deples.tomsk.gov.ru/lesohozjajstvennyye-reglamenty> (дата обращения: 11.02.2019).
29. *Ефремов С.П.* О залесении осушенных болот Томской области [Электронный ресурс]. URL: <http://www.activestudy.info/r/vzaimootnosheniya-lesa-i-bolota/page/2/> (дата обращения: 11.02.2019).
30. *Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2001 г.* / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды, Облкомприрода. Томск: Дельтаплан, 2004. 204 с.

M.N. Alekseeva, E.A. Golovatskaya, I.G. Yashchenko. **Air pollution from fires of drained peatlands in Tomsk region.**

In the created geoinformation system, the analysis of air pollution from fires of drained peatlands in the territories of Bakcharsky and Shegarsky forest districts of the Tomsk region has been performed. Parameters of horizontal and vertical perturbations in the air layer due to a fire in the area of Iksa were calculated, which including a maximum vertical dimension of the convective column (mixture of air with products of complete and incomplete combustion rising above the fire), heat emission, and the propagation velocity of the aerosol cloud of combustion products.

The volumes of pollutant emissions from the fire have been calculated on the basis of geodata and those on the biomass of vegetation cover of the Iksa site. It is shown that significant amounts of carbon monoxide, carbon dioxide, and methane were emitted into the atmosphere due to the fire. The data on emissions of nitrogen oxide, soot, and ozone are also reported. At the present time, this site is characterized by the restoration of vegetation cover; the positive dynamics of the NDVI vegetation index has been calculated. The accumulation of biomass in the Iksa site and the presence of dead wood, as well as a road network indicate a high risk of vegetation and peat ignition and pollutant emissions to the atmosphere.