НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТОМСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
АДМИНИСТРАЦИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Природопользование и охрана природы:
Охрана памятников природы,
биологического и ландшафтного
разнообразия Томского Приобья
и других регионов России**

**Материалы IX Всероссийской с международным участием
научно-практической конференции**

Томск, 21–23 апреля 2020 г.

Томск
Издательство Томского государственного университета
2020

товительных компаний и в них проводятся выборочные рубки для коммерческой заготовки товарной древесины. Несмотря на, казалось бы, ограниченный характер выборочные рубки приводят к значительному снижению продуктивности лесных насаждений в данном районе.

Но большее влияние на снижение продуктивности лесных насаждений в Алтайском крае оказывает ухудшение качества лесов, происходящее в результате лесных пожаров, которые в большей мере проявляются в западных районах края, локально лесные пожары могут проявляться и в предгорных лесничествах. К тому же, сильное влияние на качество леса влияют болезни леса, а особенно насекомые-вредители. Нарушение устойчивости лесных экосистем сложно восстановить, так как и ленточные сосновые боры и черневая тайга – уникальные растительные сообщества. Негативные изменения лесов в Чарышском лесничестве нарушают устойчивость функционирования Тигирекского заповедника, что тесно связано с распространением насекомых-вредителей и болезней леса. По этой причине работники заповедника производят лесопатологический мониторинг и санитарные рубки в лесных массивах. Эти неблагоприятные процессы приводят к снижению эффективности выполнения важных экологических функций лесных насаждений. Все это говорит о важности учета проблем в лесном хозяйстве и своевременном их обнаружении, а также выполнения правил охраны и восстановления леса, необходимых для сохранения видового разнообразия. Если в скором будущем ухудшение качества леса будет продолжаться с той же скоростью, это станет причиной перехода высококачественного класса бонитета в низкокачественный, и в дальнейшем будет продолжаться деградация лесных экосистем.

Покомпонентная оценка состояния лесных ресурсов позволяет вывить очаги проявления разного рода проблем, возникающих в лесном фонде. Она служит основой для проведения комплексной оценки, которая позволяет учитывать все возможности ресурсно-экологических полезностей лесной растительности региона.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2018 году». Барнаул, 2019. 194 с.
2. Лесные ресурсы Алтайского края. URL: <http://www.altaionline.ru/altai.php?id=333>.
3. Острошенко В.В. Краткий словарь основных лесоводственно-экономических терминов : учеб. пособие. Уссурийск, 2005. 160 с.
4. Бабурин А.А. Методика оценки современного состояния лесного растительного покрова // Экосистемы Дальнего Востока. Владивосток, 1981. 118 с.
5. Парамонов Е.Г., Куделя В.А., Семенов М.И. Лесоводственная характеристика черневых лесов Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 5 (103). С.75–78.

DOI: 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-79

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ СТЕПНЫХ ГАРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ LANDSAT FEATURES OF THE THERMAL REGIME AND WATER SUPPLY FOR STEPPE BURNED AREA BASED ON LANDSAT SATELLITE IMAGES

В.М. Павлейчик, К.В. Мячина
V.M. Pavleychik, K.V. Myachina
Институт степи ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург
pavleychik@rambler.ru

На основе анализа данных спутниковых изображений Landsat выявлены микроклиматические особенности степных гарей, заключающиеся в повышенном тепловом фоне, сокращенной мощности и продолжительно-

сти залегания снежного покрова. Оценена продолжительность восстановительных процессов с учетом ландшафтной неоднородности и выявлены закономерности в суточной и сезонной динамике термического режима, обусловленные неравномерностью инсоляции.

Based on the analysis of Landsat satellite image data, microclimatic features of steppe burned area were identified, consisting in an increased thermal background, reduced depth and duration of snow cover. The duration of recovery processes is estimated taking into account landscape heterogeneity and regularities in the daily and seasonal dynamics of the thermal regime due to uneven insolation are revealed.

Ключевые слова: степные пожары, гари, температура, восстановление.

Keywords: steppe fires, burning area, temperature, recovery.

Актуальность работы. Пожары являются характерным явлением степных регионов и имеют важное значение в формировании видовой и ценотической структуры степных экосистем. В связи с этим анализ воздействия пирогенного фактора и постпирогенных сукцессий вызывает традиционный интерес у исследователей [1]. Вместе с тем практически неизученными остаются вопросы, связанные с оценкой особенностей постпожарного состояния степных ландшафтов. Отсутствие сомкнутого растительного покрова (особенно на первоначальных стадиях восстановления) приводит к изменению основных физических свойств земной поверхности, приповерхностных слоев воздуха и почвенно-грунтового профиля. Информация, содержащаяся в мультиспектральных спутниковых изображениях Земли, позволяет совершенствовать методологию мониторинговых исследований, включая оценку последствий пирогенного фактора [2]. Выявление ареалов гарей и анализ динамики восстановительных процессов на основе тематической обработки данных дистанционного зондирования широко апробируется [4–6]. Актуальность подобных исследований также следует из современной тенденции увеличения площадей пожаров и частоты пирогенного воздействия на травянистые экосистемы степных, лесостепных и полупустынных регионов Северной Евразии [7–8], что приводит к усилению негативных экологических последствий.

Цель работы. В проведенном исследовании апробированы геоинформационные методы анализа мультиспектральных спутниковых изображений Земли для выявления микроклиматических особенностей степных гарей и оценке продолжительности восстановительных процессов.

Методы и материалы. В качестве источников данных о температурном режиме поверхности приняты данные инфракрасного диапазона мультиспектральных спутниковых изображений Landsat TM и ETM. Оценка особенностей теплового режима гарей проведена на примере одной ключевой территории, расположенной в Южном Предуралье, на междуречье рек Урал и Илек. Участок имеет площадь 1,5 тыс. км², из которых постоянно обрабатываемые пахотные угодья занимают около 20%, залежные земли – около 15%. В центре ключевой территории находится участок заповедника «Оренбургский» («Буртинская степь», 45 км²), в окружении которого – крупные массивы малоиспользуемых земель, что способствует формированию напряженной пожароопасной обстановки [7].

Подготовленные термограммы отображают пространственное распределение температур в состоянии, предшествующем пожарам, во время их распространения (24.09.2009 г. – дата пожара основного анализируемого ареала гари) и в различные сезоны 2009–2011 гг. (далее – номер снимка и дата): 2009-168 (17.06.2009), 2009-264 (23.10.2009), 2010-034 (03.02.2010), 2010-178 (27.06.2010), 2010-251 (08.09.2010), 2011-133 (13.05.2011), 2011-213 (01.08.2011). Одним из условий получения достоверных результатов стала необходимость исключения влияния предшествующих пожаров на тепловой режим поверхности. Поэтому при выборе даты предпожарных спутниковых снимков мы исходили из того, что временной промежуток между пожарами анализируемых гарей (август-сентябрь 2009 г.) и пожарами предшествующих лет не должен составлять менее 4–5 лет. Временной ряд спутниковых изображений, выполненных после по-

жаров, демонстрирует особенности и продолжительность процессов восстановления растительного покрова, разнообразие постпожарных состояний ландшафтов.

Перед процессом тематической обработки снимки прошли стандартный уровень геометрической и радиометрической калибровки с пересчетом показателей в коэффициент спектральной яркости. Особенности восстановительных процессов с учетом ландшафтной неоднородности территории рассмотрены на основе серии термограмм по перечисленным выше датам. При выборе шага температурной шкалы (1°C) мы исходили из сведений [9], согласно которым точность измерения температуры подстилающей поверхности на основе изображений Landsat колеблется от $1,3$ до $2,0^{\circ}\text{C}$. Сложный эрозионно-расчлененный рельеф участка с разнообразием склонов различных экспозиций обуславливает существенную пространственную неоднородность в тепловом режиме поверхности. В связи с этим различия в температурном режиме между горелыми и негорелыми участками были проанализированы по линиям четырех профилей протяженностью каждого 1 км .

На примере малоснежной зимы 2014–2015 гг. выявлены особенности в пространственном распределении снежного покрова на гаях и в естественных условиях, сроках его формирования и разрушения при помощи ежесуточных изображений спутников Terra и Aqua. Температурный режим поверхности за этот период времени оценен по снимкам Landsat (далее – номер снимка и дата): 2014-214 (02.08.2014), 2014-262 (19.09.2014), 2015-089 (30.03.2015), 2015-105 (15.04.2015). Приняты во внимание результаты снегомерной съемки на участке заповедника [10].

Полученные результаты. Анализ предпожарных термограмм свидетельствует о том, что температурный фон в теплые сезоны года на исследуемом участке имеет сложно дифференцированную пространственную структуру с широким диапазоном значений. Для снимка (2009-168) амплитуда температур составляет 24°C ($+21 - +45^{\circ}\text{C}$). Выявлено, что в качестве основных факторов, определяющих температуру поверхности, выступают: а) плотность травостоя (степень покрытия поверхности); б) наличие водных объектов и территорий с повышенным грунтовым увлажнением; в) экспозиционная направленность и величина уклона поверхности склонов. Пониженной температурой (в среднем на $5-7^{\circ}\text{C}$) поверхности характеризуются эрозионные и карстовые понижения, склоны северной экспозиции и в целом территория заповедного участка «Буртинская степь». Диапазон температур $+29 - +37^{\circ}\text{C}$ охватывает большую часть условно естественных экосистем (сенокосы и пастбища) – $1,16\text{ тыс. км}^2$, или 77% от площади участка. Именно к этому температурному диапазону относится 91% территории, впоследствии подвергшейся пожару в сентябре 2009 г.

Термограммы снимков 2009-296 и 2014-214, на которых отображены действующие на момент съемки фронты пожаров, свидетельствуют о следующем. Сенсоры Landsat фиксируют температуру непосредственно в очагах в пределах $39,5-45,5^{\circ}\text{C}$ для снимка 2014-214 и $29-37^{\circ}\text{C}$ для снимка 2009-296. После прохождения огневого фронта поверхность практически сразу же остывает до значений, соответствующих уровню инсоляции.

Температурные различия в смежных (горелой и негорелой) частях в теплые сезоны последующих лет обычно не превышают 4°C , в среднем составляют $-2-2,5^{\circ}\text{C}$. Сходные значения получены в ходе многолетних (2015–2019) мониторинговых исследований на этом же ключевом участке, проведенных на основе автономных регистраторов температуры (логгеров) [10]. Верификация данных дистанционного зондирования Земли подтверждает достоверность полученных результатов. Особенности отражательной способности гарей обусловлены отсутствием растительного покрова и более темным тоном поверхности ввиду наличия обгоревших дерновин и зольных остатков. Различия в температуре поверхности между горелыми и негорелыми

участками определяются условиями инсоляции, в связи с чем они максимальны в летний период и сохраняются в течение всех теплых сезонов года, вплоть до наступления постоянных отрицательных температур. Инструментальными замерами выявлено, что в условиях рассеянной инсоляции температурные различия становятся практически несущественными, в зависимости от характера и степени облачности. Также инструментально выявлены особенности суточного хода температур. Температура поверхности гарей больше, чем в естественных условиях, на протяжении большей части суток. Максимальных значений различия достигают в период с восхода солнца до 11–12 часов и составляют 2–3°C [10]. Как раз к этому периоду относится и постоянное время съемки спутника Landsat. В условно естественном состоянии растительность во многом нивелирует суточный и сезонный температурный фон поверхности за счет частичного затенения и образования особых микроклиматических условий в приповерхностном слое.

Сопоставление температурных данных по основным морфологическим элементам ландшафтов позволяет выявить различия в степени ущерба и в активности восстановительных процессов. Согласно полученным термограммам в наибольшей степени постпожарные изменения проявляются на поверхности увлажненных экотопов, занятых лесными урочищами, зарослями степных кустарников по днищам и склонам балок, разнотравными луговинами вдоль водотоков и в карстовых понижениях. Восстановление древесного и кустарникового покровов занимает существенно более продолжительный период времени. Вместе с тем сопутствующий травяной покров (луговое разнотравье), находясь в благоприятных условиях увлажнения, в кратчайшие сроки вегетационного периода накапливает фитомассу, вследствие чего быстро восстанавливается и изначально пониженный температурный режим. После пожара более значительными становятся температурные различия, обусловленные экспозиционной неоднородностью поверхности. Склоны южных экспозиций становятся более «горячими», а северных экспозиций – более «холодными».

Одной из характерных особенностей гарей позднелетних и осенних пожаров является отсутствие травяного покрова ко времени формирования снежного покрова. Мощность снежного покрова на гарях обычно значительно меньше, чем в естественных условиях [11], что не может не отражаться на условиях весеннего увлажнения территории и, как следствие, на интенсивности постпожарной вегетации. В качестве примера нами рассмотрены особенности формирования и разрушения снежного покрова на гарях в малоснежный холодный период 2014–2015 гг. После пожара 2014 г. в течение всего холодного периода в пределах гарей не был образован повсеместный и устойчивый снежный покров. Начало разрушения снежного покрова в марте 2015 г. явилось той критической точкой, после которой отмечалось активное нарастание площади открытой поверхности на гари ввиду высокой инсоляционно-поглощающей способности. Температурный режим поверхности на термограмме снимка 2015-089 (30 марта) контрастно различался – от –7 до 0°C на негорелых участках, от 0 до +12,5°C в пределах гарей. Таким образом, процессы постпожарного восстановления биотических компонентов степных ландшафтов происходят на фоне специфических условий гарей. Горелые территории резко отличаются от фоновых как по температурным показателям, так и по другим микроклиматическим параметрам (увлажнение талыми водами, глубина промерзания почвенного покрова и др.).

Продолжительность температурных различий смежных (горелых и негорелых) территорий прослежена на основе термограмм за 2009–2011 гг. по линиям профилей. Ниже (рис. 1) отображено распределение средних (по всем четырем профилям) значений температур по датам постпожарных снимков.

Полученные данные отражают особенности восстановительной динамики с учетом сезонных различий в температурном режиме. На протяжении первого послепожарного года

(2010 г.) различия остаются значительными, максимальных значений достигают в летние месяцы, а осенью, с сокращением инсоляции и понижением общих температур – снижаются, но остаются практически на уровне 2009 г. В первой половине 2011 г. различия между горелыми и негорелыми участками остаются на высоком уровне, но к окончанию вегетации большинства видов в начале августа уже достигают в среднем $0,2^{\circ}\text{C}$. Таким образом, различия в температурном режиме между горелыми и негорелыми участками постоянно снижаются и практически нивелируются к концу второго вегетационного года. За это время плотность растительного покрова достигает значений [12], достаточных для восстановления практически изначальных микроклиматических условий.

Рис. 1. Распределение средних значений температуры поверхности:
слева – естественные, справа – горелые сегменты профилей

Выводы и обсуждения. Воздействие огня на биотические и биокосные компоненты инициирует серию взаимосвязанных преобразований в микроклимате степных экосистем. Наиболее явными последствиями пожаров в этом аспекте являются: а) изменение теплового режима поверхности; б) пониженная мощность снежного покрова, сокращение продолжительности его залегания; в) усиленное промерзание зимой и пониженное увлажнение весной почвенного профиля. Эти трансформации носят комплексный характер и формируют особые экотопические условия, на фоне которых происходят восстановительные постпирогенные процессы.

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 18-05-00088 и темы государственного задания № АААА-А17-117012610022-5.

Литература

1. Степные пожары и управление пожарной ситуацией в степных ООПТ: экологические и природоохранные аспекты. Аналитический обзор. М. : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2015. 144 с.

2. Павлейчик В.М., Мячина К.В. Особенности термического режима земной поверхности после степных пожаров по данным спутников Landsat // Вестник ОГУ. 2016. № 4 (192). С. 83–89.
3. Украинский П.А. Динамика спектральных свойств зарастающих травяных гарей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 4. С. 229–238.
4. Zhang Y., Balzter H., Zou C., Xu H., Tang F. Characterizing bi-temporal patterns of land surface temperature using landscape metrics based on sub-pixel classifications from Landsat TM/ETM+ // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015. № 42. P. 87–96.
5. Vlassova L., Pérez-Cabello F. Effects of post-fire wood management strategies on vegetation recovery and land surface temperature (LST) estimated from Landsat images // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2016. № 44. P. 171–183.
6. Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment. 2010. № 114. P. 1638–1648.
7. Pavleychik 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, № 3. P. 212–221.
8. 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.
9. Weng Q., Fu P., Gao F. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2014. № 145. С. 55–67.
10. Павлейчик В.М., Калмыкова О.Г., Сорока О.В. Особенности микроклиматического режима степных гарей на заповедном участке «Буртинская степь» // Проблемы региональной экологии. 2016. № 4. С. 69–74.
11. Павлейчик В.М., Падалко Ю.А. Аномальное малоснежье и пыльно-снежная буря в Заволжско-Уральском регионе зимой 2017-2018 годов (условия формирования и потенциальные последствия) // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 2. С. 89–96.
12. Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G., Dusaeva N.V. Fire influence on dynamics of above-ground phytomass in steppe plant communities in the Burtinskaya steppe (Orenburg state nature reserve, Russia) // Nature Conservation Research. 2019. № 4 (1). С. 78–92.

DOI: 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-80

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ФАКТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДА ТОМСКА

ANALYSIS OF NORMATIVE SANITARY PROTECTION ZONES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF TOMSK

Е.Ю. Пасечник, Л.Н. Чилингер, А.Г. Бирулина

E.Yu. Pasechnik, L.N. Chilingier, A.G. Birulina

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

paseyu@yandex.ru, lilichilinger@gmail.com, agbirulina@yandex.ru

В статье рассмотрены исторические аспекты проектирования санитарно-защитных зон. Установлено современное положение промышленных предприятий и их нормативных санитарно-защитных зон на основании правил землепользования и застройки г. Томска с применением геоинформационной системы ArcCis. Отмечен ряд факторов в нарушении городского пространства и предложены возможные меры по его восстановлению.

The article discusses the historical aspects of the design of sanitary protection zones. The current situation of industrial enterprises and their regulatory sanitary protection zones has been established based on the land use and development rules of Tomsk using the ArcCis geographic information system. A number of factors in the violation of urban space are noted and possible measures for its restoration are proposed.

Ключевые слова: промышленные предприятия, жилые зоны, санитарно-защитные зоны, экологическая безопасность.

Key words: industrial enterprises, residential zones, sanitary protection zones, environmental safety.

В настоящее время на территории городских и сельских поселений прослеживается размещение промышленных предприятий наряду с жилыми зонами. Такое расположение в боль-