
ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 502.57(252.51):614.84

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА И УВЛАЖНЕНИЯ ПОСТПИРОГЕННЫХ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ

© 2020 г. В. М. Павлейчик^{а, *}, О. Г. Калмыкова^а, О. В. Сорока^б

^аИнститут степи УрО РАН, Оренбург, Россия

^бОбъединенная дирекция государственных природных заповедников “Оренбургский” и “Шайтан-Тай”,
Оренбург, Россия

*e-mail: pavleychik@rambler.ru

Поступила в редакцию 19.03.2019 г.

После доработки 17.03.2020 г.

Принята к публикации 06.04.2020 г.

Уничтожение огнем надземной части растительного покрова приводит к формированию особых микроклиматических условий для последующего восстановления степных экосистем. В связи с этим проведен анализ многолетних (2015–2018 гг.) данных автономных регистраторов температуры и влажности поверхности гари, верхних слоев грунта и воздуха на участке “Буртинская степь” заповедника “Оренбургский” (Оренбургская область) с учетом сведений об особенностях залегания снежного покрова, полученных в результате снегомерной съемки, и анализа материалов дистанционного зондирования (снимки MODIS и Landsat). Выявлено, что отсутствие в результате пожара сформированного растительного покрова в зимние периоды приводит к сокращению мощности и продолжительности залегания снежного покрова, что является причиной более значительного промерзания грунта на гари и ухудшения условий весеннего увлажнения почвы. Теплый бесснежный период года характеризуется отчетливо выраженными суточными амплитудами хода температур. При этом как на поверхности, так и в приповерхностном слое почвы гарей отмечается повышенный тепловой фон в условиях повышенной инсоляции. Полученные результаты свидетельствуют, что микроклиматический режим гарей в первые годы после пожара значительно отличается от фоновых территорий. По многолетней динамике рассматриваемых показателей можно считать восстановительные процессы в целом законченными спустя четыре полных вегетационных периода после пожара.

Ключевые слова: природные пожары, гарь, тепловой режим, условия увлажнения, растительный покров, постпирогенные сукцессии, мониторинг

DOI: 10.31857/S2587556620040111

Воздействие огня на травянистые экосистемы хоть и является краткосрочным, но приводит к череде довольно продолжительных комплексных трансформаций, во многом обусловленных уничтожением растительного покрова. Растительность как компонент травяной экосистемы выполняет важные биосферные функции (формирует среду обитания, служит кормовой базой и др.), но после воздействия огня она находится в состоянии продолжительного стресса. Попутно с выгоранием ее надземной сферы уничтожается часть семенного фонда, напочвенные мхи и лишайники, насекомые, почвенная микробиота и гумус верхних слоев почвы.

Наиболее изученными являются вопросы влияния природных пожаров на флору и растительность степных экосистем. Продолжительность их постпирогенных сукцессий различными авторами оценивается от 2–3 до 10 и более лет [2, 3, 8]. Постпирогенное состояние степных ландшафтов

в условиях отсутствия сомкнутого растительного покрова (особенно на первоначальных стадиях восстановления) не может не отличаться от естественного основными физическими свойствами земной поверхности, приповерхностных слоев воздуха и почвенно-грунтового профиля — температурой и влажностью. Особенности микроклиматического режима степных гарей создают специфические условия для протекания восстановительных послепожарных процессов, что следует учитывать в эколого-географических исследованиях. При этом следует принимать во внимание изменчивость погодно-климатических условий отдельных лет и сезонов года, которые и определяют интенсивность этих процессов. Параметры увлажнения и температуры также можно использовать в качестве одного из индикаторов продолжительности и пространственной неоднородности протекания пирогенной сукцессии.

Природные пожары являются одним из наиболее значимых факторов формирования современных степных ландшафтов [8, 9], наиболее актуальным остается получение достоверных данных, на основе которых возможно проведение комплексного анализа экологических последствий степных пожаров. Принимая это во внимание, настоящая статья посвящена выявлению и анализу особенностей теплового режима и условий увлажнения степных гарей. Актуальность исследований также определяется современной тенденцией увеличения масштабов и частоты пирогенного воздействия на травянистые экосистемы степных, лесостепных и полупустынных регионов Северной Евразии [10, 12, 13, 15], что однозначно приводит к усилению негативных экологических последствий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационной основой исследования стали данные микроклиматического блока системы комплексного послепожарного мониторинга, заложенной на участке “Буртинская степь” заповедника “Оренбургский” после пожара [4]. Формирование системы мониторинга было осуществлено при поддержке программы ПРООН/ГЭФ “Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России”. Заповедный участок “Буртинская степь” занимает 45 км², охватывая приводораздельное пространство, ограниченное долинами р. Урал и его притоков (рр. Буртя и Бурля). Отсутствие непреодолимых природных и антропогенных рубежей в сочетании с широким распространением малоиспользуемых степных угодий способствовало формированию обстановки, благоприятной для возникновения и обширного распространения пожаров.

Микроклиматические наблюдения проводились на площадках, располагающихся на границе гари, возникшей в результате пожара 31.07.2014 г. и охватившей различные элементы ландшафтной структуры Буртинской степи. Каждая из площадок состоит из пары точек, находящихся на смежных горевших и негоревших (контрольных) участках. В этих точках производились наблюдения: а) мощность снежного покрова (выполнялись егерями заповедника по снегомерным рейкам); б) температура на отметках от поверхности (–30 см), на поверхности (0 см) и над поверхностью (+50 см) – автономные регистраторы температуры (логгеры TP-2), периодичность измерений – 24 раза в сутки; в) относительная влажность на отметках аналогичных при измерении температуры (логгеры температуры и влажности TPВ-2), периодичность измерений – 12 раз в сутки.

Сформированная база данных охватывает период инструментальных наблюдений с 08.12.2014 г. по 20.10.2018 г. (дата последнего извлечения инфор-

мации). С учетом выхода из строя некоторых регистраторов и их неполной комплектности по высотным уровням, у нас имелась возможность анализа данных в среднем по 3–5 парам наблюдений за год. На основе полученных данных ниже приведен анализ различий в микроклиматических показателях между смежными – горелыми и негорелыми – степными участками. Установленная на приборах учета периодичность измерений позволяет выявить подобные различия как в фактическом исчислении (суточный ход показателей, обусловленный инсоляционными явлениями), так и в виде интерпретированных за необходимый период. Дополнительно к данным измерений глубины снежного покрова на мониторинговых площадках рассмотрены пространственные особенности его формирования и разрушения в пределах исследуемой гари на основе изображений MODIS (спутники Terra и Aqua) и Landsat.

Предварительные результаты мониторинга за первые послепожарные годы (2015–2016) свидетельствовали о существенных различиях в температуре и в условиях увлажнения естественных и горелых территорий [5]. Спустя четыре года после пожара, к осени 2018 г., большая часть измерительных приборов исчерпали срок эксплуатации, различия показателей стали неявными и минимальными по разбросу. Таким образом, сформированная база данных охватывает максимально продолжительный ряд наблюдений, позволяющий выявить особенности параметров и длительности послепожарной сукцессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительный покров выполняет многие средообразующие функции – защита от экзогенных (эрозионных, дефляционных и др.) процессов, регулирование водного стока, накопление и распределение снежного покрова, терморегуляция почвенных горизонтов и др. В степных экосистемах эти функции обеспечиваются плотным травостоем из длиннокорневищных и дерновинных злаков, запасами растительной подстилки, ветоши и войлока. Следовательно, при уничтожении надземной фитомассы пожарами перечисленные функции утрачиваются и постепенно восполняются по мере восстановления растительного покрова. Так, исследования постпожарного мониторинга растительности Буртинской степи показывают на сокращение общего проективного покрытия на следующий год после пожара в 2 раза, запасов общей надземной фитомассы – в 4.0–4.4 раза, живой надземной фитомассы – в 2 раза [1].

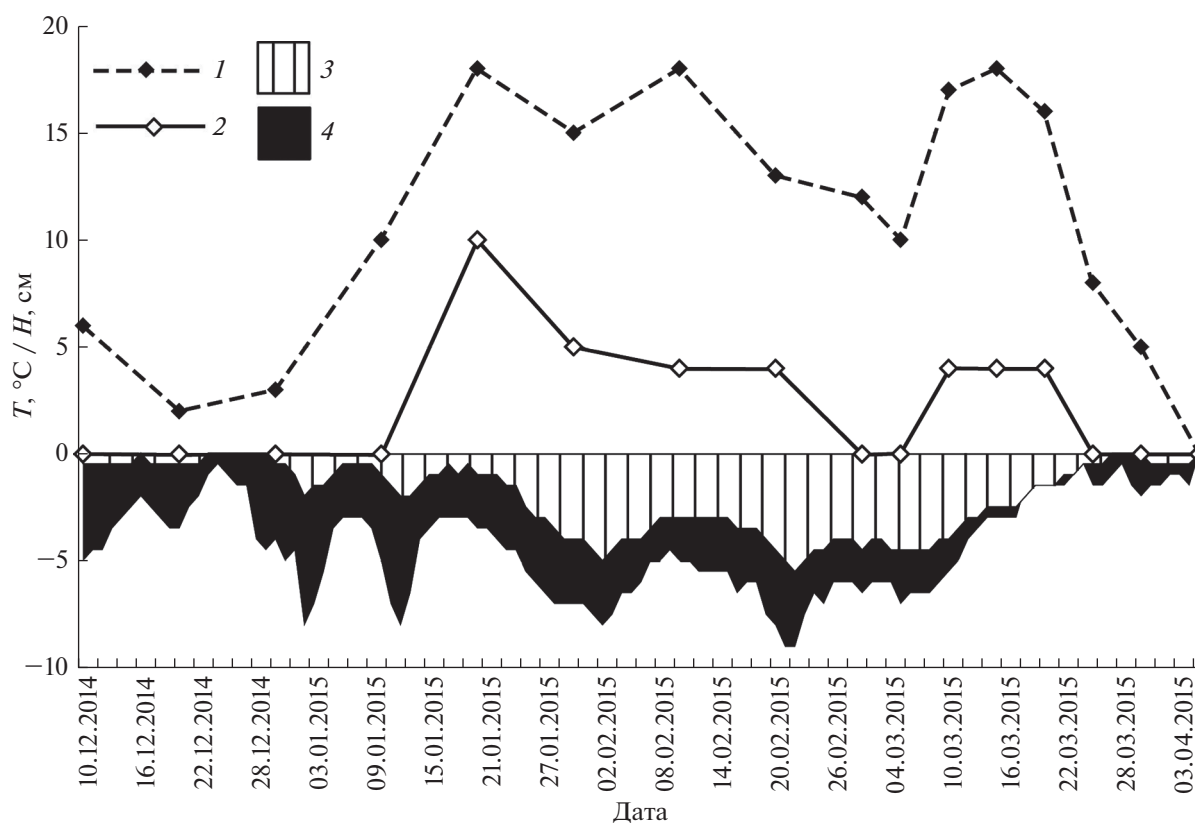


Рис. 1. Совмещенные графики температуры (минимальные суточные на отметке – 30 см) и мощности снежного покрова на естественных участках и гарях на площадке № 2.

Мощность снежного покрова: 1 – естественный участок, 2 – гарь; температура: 3 – естественный участок, 4 – гарь.

МИКРОКЛИМАТ СТЕПНЫХ ГАРЕЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД

Последующий за пожаром холодный период 2014–2015 гг. отличался региональной малоснежностью. Неразвитость травяного (и местами сопутствующего кустарникового) покрова на гари ко времени формирования снежного покрова, определило фрагментарный характер распространения последнего, преимущественно на пониженных элементах рельефа. На ровных и возвышенных поверхностях, преобладающих как на рассматриваемой территории в целом, так и в сети мониторинга, снежный покров за весь холодный период 2014–2015 гг. практически полностью отсутствовал. Соответственно первый послепожарный зимний сезон наиболее отчетливо определяет роль растительности в формировании снежного покрова и теплового режима гарей (рис. 1).

Следствием несформированного снежного покрова стало и то, что температура на горелых участках по всем площадкам была ниже, чем на участках с растительностью. На поверхности разность температур достигала 8–11 °C (в периоды заморозков), в среднем – 5.1 °C. Более существенное промерзание почвы гари фиксируется и

на глубине почвенно-грунтового профиля гарей; на отметке –30 см температурные различия составляли в среднем 2.3 °C, достигая 4–6 °C. В условиях снижения мощности снежного покрова тепловой режим поверхности и почвенного профиля гарей приобретает отчетливую зависимость от атмосферной температуры, особенно в период с ноября по январь включительно. В эти месяцы при резких похолоданиях снижение температуры поверхности происходило практически одновременно, а вот на отметке –30 см минимумы значений смещены примерно на сутки. По мере промерзания почвенного профиля наблюдалась отчетливая тенденция сокращения вариации температуры на фоне достижения годового минимума к концу февраля. Относительная влажность (по данным 2-х площадок на отметке –30 см) в естественных условиях была постоянно выше, на 3.7 и на 10.6%.

Зимний период 2015–2016 гг. в Южном Предуралье отличался обилием атмосферных осадков и повышенным температурным фоном в сочетании с серией оттепелей. Подобные погодные условия и частичное восстановление растительного покрова гарей за вегетационный сезон 2015 г. определили более равномерное распределение снежного покро-

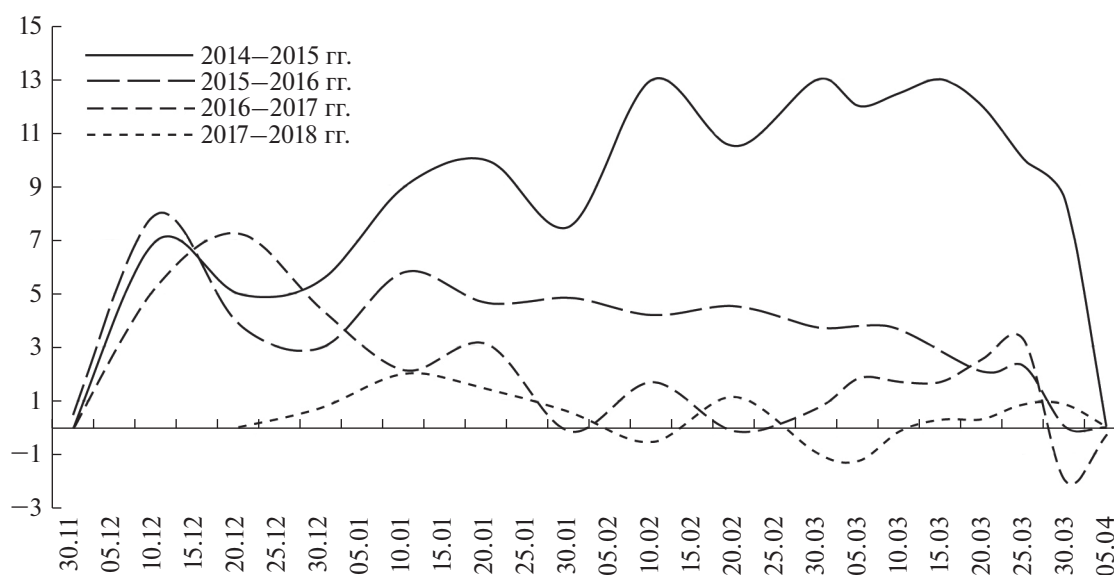


Рис. 2. Разность средней высоты снежного покрова (см) между естественными и горелыми участками за периоды устойчивого залегания снежного покрова 2014–2018 гг.

ва (рис. 2), что не могло не способствовать выравниванию температур на мониторинговых парах. Поверхность гари в течение всего зимнего периода охлаждалась интенсивнее, в среднем ниже на $0.5\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а во время заморозков — до $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. На отметке -30 см температура на гарях также была несколько меньше, в среднем за холодный период на $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и с максимумом различий в $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, несмотря на погодные различия двух холодных периодов, можно отметить факт сохранения температурных различий между горелыми и негорелыми участками степи с тенденцией их снижения. Температуры на отметке $+50\text{ см}$ на гарях ненамного, но постоянно ниже, чем на контрольных участках (в среднем за весь период на $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), что свидетельствует об определенном влиянии теплового режима подстилающей поверхности на приповерхностный слой воздуха. На этой же отметке в естественных условиях постоянно наблюдается превышение влажности (в среднем 0.8%) на протяжении всего холодного периода.

Зимний период 2016–2017 гг. по метеорологическим показателям был также относительно многоснежным, но более морозным и практически без оттепелей. На третий зимний сезон после пожара различия в температурных значениях между гарями и контрольными участками сохраняются, однако проявляются на отдельных мониторинговых площадках неодинаково. Часть площадок (№ 2, 3, 4 и 7) демонстрирует сохранение усиленного промерзания гарей как на поверхности (средняя разность $0.77\text{ }^{\circ}\text{C}$), так и в глубине почвенного профиля ($0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$). На двух других площадках (№ 5 и 6) наблюдается обратная ситу-

ация, что можно объяснить пространственной удаленностью горелых и негорелых мониторинговых точек, а также различиями морфологии поверхности, что косвенно подтверждается минимальными температурными различиями в предшествующие зимние периоды. Различия в мощности снежного покрова отмечались, главным образом, в период его формирования (декабрь—первая половина января), позднее эти различия нивелировались в условиях многоснежной зимы.

Зимний период 2017–2018 гг. был уникальным за всю историю метеонаблюдений в регионе [7]; выпадавший снег на протяжении всей зимы неоднократно разрушался серией оттепелей и периодом сильного ветра (20–26 января), сформировавшего пыльно-снежную бурю. Эти неблагоприятные условия частично затронули и рассматриваемую территорию, высота снежного покрова и продолжительность его залегания на протяжении всей зимы были значительно ниже нормы. Вместе с тем, различия в мощности снежного покрова становятся неясными (рис. 2) при максимальной высоте $15\text{--}17\text{ см}$ в начале января и в марте. Температура на глубине почвенного профиля (-30 см) гарей сравнилась с естественной (площадка 7), либо (площадки 2 и 6) была выше на $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ноябрь–декабрь), позднее (январь–середина марта) — выше на $1.5\text{--}2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также в среднем на $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше была температура поверхности гарей (0 см), в январе различия увеличивались до $0.5\text{--}0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; при фрагментарно и недостаточно сформированном снежном покрове прослеживались выраженные суточные колебания, особенно в начале холодного периода с сериями оттепелей. Таким образом, спустя три полных вегетационных периода после по-

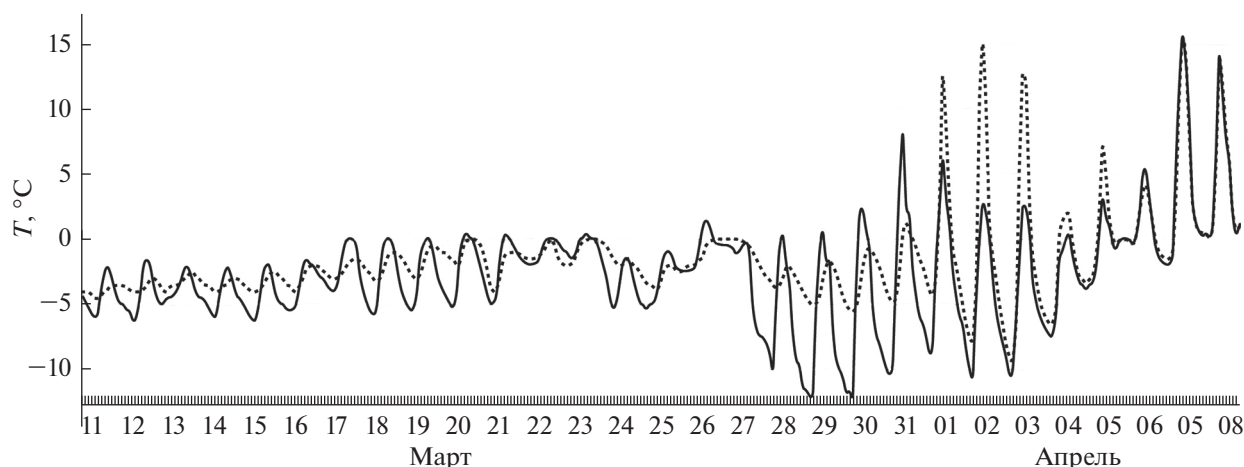


Рис. 3. Температура поверхности в переходный сезон года (площадка № 2, 11.03.—08.04.2015 г.). Пунктирная линия — контроль, сплошная — гарь.

жара растительный покров восстановился до состояния, достаточного для близкого к естественному условия аккумуляции снега; при этом значения зимних температур на гарях в целом были даже несколько выше контрольных.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ГАРЕЙ В ТЕПЛЫЕ (БЕССНЕЖНЫЕ) ПЕРИОДЫ

В период перехода среднесуточных температур через 0°C (вторая половина марта—начало апреля) сокращенная мощность снежного покрова на гарях определяет отчетливо выраженный высокоамплитудный ход суточных температур поверхности, достигающий от 5°C в сутки (рис. 3). После таяния снежного покрова (с 20 по 26 марта на разных площадках) суточные амплитуды становятся еще более значимыми, до $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$; такой разброс значений частично обеспечивается более существенным и продолжительным промерзанием почвенно-литогенного профиля. На контрольных площадках снежный покров был разрушен к 1 апреля, после этой даты и для естественных условий стала характерна выраженная суточная амплитуда температур.

Ход температур на отметке -30 см более плавный, чем на поверхности. Усиленное промерзание почвенно-литогенного профиля приводит к тому, что через 0°C температура переходит лишь спустя две недели после схода снега. В естественных условиях этот переход отмечается даже раньше схода снега. После этого более высокая инсоляция гари обеспечивает преобладание температурных значений над контрольной площадкой.

Если в холодный период года микроклиматические особенности гарей обусловлены, главным образом, состоянием снежного покрова, то со времени его разрушения полностью зависят от

условий инсоляции при отсутствии (либо разреженном состоянии) надземного растительного покрова. Соответственно, в тепловом режиме гарей более отчетливо проявляются последствия суточных и сезонных циклов положения Солнца с учетом региональных метеословий, состояния атмосферы и облачного покрова. Сведения об основных метеорологических параметрах теплых (бесснежных и безморозных) периодов 2015—2018 гг. приведены в табл. 1. Сезонное распределение среднесуточных, минимальных и максимальных температур в теплые периоды в целом однотипно. А вот показатели, косвенно характеризующие количество облачных дней, имели за рассматриваемый период однонаправленную тенденцию к почти двукратному снижению.

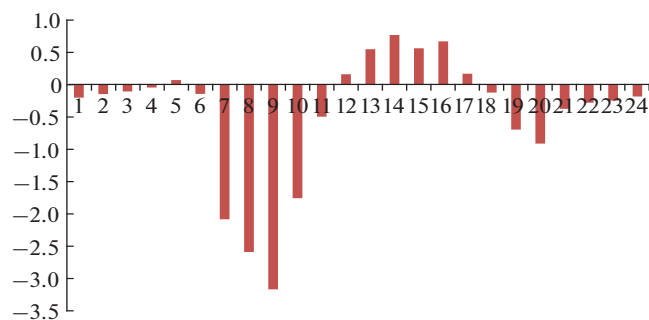
Микроклиматические особенности гарей в теплый период обусловлены параметрами отражающей способности земной поверхности и растительного покрова. Растительность в состоянии постпожарной сукцессии имеет тенденцию к увеличению проективного покрытия по мере нарастания надземной фитомассы, накопления растительных ветоши и войлока. Заметим, что в разрезе одного вегетационного сезона динамика проективного покрытия отражает не только однонаправленное нарастание фитомассы, но и может характеризоваться определенными вариациями, связанными с особенностями флористического состава степи и фенологическим состоянием ее покрова.

Естественно, что наиболее существенные различия наблюдались в первый послепожарный (2015) год. Поверхность, лишенная растительного покрова и войлока, в совокупности с остатками сгоревших дернин и золы, отличается низкой отражающей способностью, что является причиной особого термического режима гарей на протяжении всего теплого периода.

Таблица 1. Основные метеорологические параметры теплых периодов в 2015–2018 гг. (Оренбург)

Метео- параметры/ Месяц	Средняя температура, минимальная/максимальная температура, °C				Сумма осадков, мм				Количество дней с осадками			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
Апрель	6.2 –8.0/24.0	10.0 –1.2/23.8	6.8 –10.2/25.1	6.9 –6.7/27.2	46	26	16	25	20	19	10	12
Май	16.3 3.2/32.8	15.9 4.3/30.5	14.3 –0.6/26.0	16.5 2.7/31.7	51	50	32	13	19	15	13	10
Июнь	24.2 7.5/37.7	19.8 6.5/32.7	18.2 4.9/32.6	18.8 3.8/34.2	20	13	40	17	12	10	21	9
Июль	21.4 8.4/33.8	22.7 12.3/32.7	22.8 10.1/37.5	25.9 13.9/39.9	29	24	33	10	16	12	11	11
Август	19.1 3.8/36.3	26.0 7.0/38.3	23.0 8.7/39.4	20.6 6.7/33.9	29	2.1	4.3	12	9	4	8	9
Сентябрь	16.2 4.3/33.4	13.4 4.1/28.4	15.2 0.4/36.8	15.3 4.4/29.8	42	80	21	16	9	20	8	4
Октябрь	4.2 –8.9/18.7	4.2 –9.3/22.8	5.3 –7.1/19.4	6.8 –7.5/24.4	16	31	43	21	20	19	18	13
Среднее	15.4	16.0	15.1	15.8	33.3	32.3	27.0	16.3	15.0	14.1	12.7	9.7
Сумма	107.7	112.0	105.6	110.8	233.0	226.1	189.3	114.0	105.0	99.0	89.0	68.0

Ход температуры на поверхности (0 см) в разрезе ежечасных замеров весьма различен на различных площадках, в связи с чем были обобщены и усреднены внутрисуточные замеры за более продолжительный период (за июль) по всем мониторинговым парам, что позволило сократить неоднородность рядов данных и выявить особенности суточного режима температуры рассматриваемых пар (рис. 4). Наибольшие различия между температурой на горячих и на контрольных участках наблюдаются в период инсоляции поверхности. На горячих, как правило, в утренние часы наблюдается более быстрое прогревание поверхности от суточного минимума в 5 ч до максимума в 11–12 ч; в этот временной отрезок температуры обычно выше, чем в естественных условиях. Подъем темпера-

**Рис. 4.** Суточный ход разности температур поверхности контрольных и горелых участков (средние значения по всем площадкам, июль 2015 г.).

тур к максимуму на контрольных точках более растянутый и продолжается примерно до 16–17 ч; к этому послеполуденному периоду температура здесь становится выше, чем на горячих. Температура на мониторинговых парах выравнивается ко времени захода Солнца и остается сопоставимой на протяжении всего темного периода суток. Как уже отмечалось, ход суточных температур подвержен значительным вариациям, как в пределах одной мониторинговой площадки (метеоусловия), так и между отдельными площадками, по-видимому, из-за различий в растительном покрове и морфологии поверхности.

В условиях рассеянной солнечной радиации микроклиматические различия между горелыми и негорелыми участками становятся менее существенными. Таким образом, исходя из фактических погодных условий тепловой режим гарей может отличаться от исходных как в значительной мере, так и быть практически на уровне негорелых территорий.

В качестве данных о степени инсоляции в отдельные периоды могут быть использованы сведения метеорологических архивов о количестве дней с осадками и сумме осадков (табл. 1), либо ежедневные космоснимки рассматриваемой местности (архив снимков MODIS), позволяющие оценить характер и динамику развития облачности. Отметим, что для рассматриваемого региона облачные и дождливые дни наиболее часто наблюдаются в весенний и осенний периоды, когда преобладающим становится циклональный

тип погоды. Летние месяцы, особенно август, отличаются безоблачной жаркой погодой, что обычно приводит к сезонному пику развития пожарных явлений.

Если различия в температуре поверхности неоднотипны, то показания на отметке –30 см демонстрируют явные и однотипные различия между гарями и контрольными точками по всем площадкам. Среднесуточная температура на гари в летний период постоянно выше на 2.5–3.5°C, а к концу лета разность снижается до 1–2°C. На этой отметке также наблюдаются суточные колебания, но они менее амплитудные и имеют обратный характер относительно температуры воздуха и поверхности – температурный максимум приходится на ночное, а местами и на предутреннее время. Повышенное прогревание почвенного профиля гарей приводит к усилению испарения почвенной влаги. Так, относительная влажность грунта на горелых участках постоянно выше на 2–3%; это превышение устанавливается в период активного нарастания температуры воздуха и снеготаяния (первая половина апреля) и отмечается на продолжении всего теплого периода.

В табл. 2 приведены среднемесячные значения температуры на разных высотных отметках, обобщенные по всем площадкам, отражающие различия между гарями и контрольными участками и временную динамику этих показателей.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований подтвердили, что особенности растительного покрова гарей обуславливают формирование особых микроклиматических условий в различные сезоны года и являются существенным фактором послепожарной сукцессии. Факторами, определяющими пространственно-временную неоднородность различий теплового режима, являются условия инсоляции, связанные с “внешними” условиями (сезонное и суточное положение Солнца, метеорологические особенности отдельных сезонов и годов) и “внутренними” факторами (экспозиционная направленность склонов и угол уклона поверхности, альbedo поверхности и др.). Морфология рельефа также определяет различия в формировании (образование и разрушение) снежного покрова. Следовательно, степень различий теплового режима и условий увлажнения горелых и негорелых территорий определяется ландшафтно-типологической структурой местности. С учетом того, что выбранные мониторинговые площадки располагаются на равнинных участках, полученные результаты отражают усредненные параметры рассматриваемых различий. При этом следует также учитывать, что исследование проведено в условиях неиспользуемых угодий заповедного участка и прилегающих территорий, при которых растительность отлича-

Таблица 2. Среднемесячная температура на мониторинговых площадках в январе и июле 2015–2018 гг.

Год	Высотные отметки			
	0 см		–30 см	
	контроль	гарь	контроль	гарь
Температура января				
2015	–4.10	–8.60	–1.98	–5.14
2016	–5.29	–6.89	–3.44	–3.85
2017	–2.63	–2.83	–1.79	–1.53
2018	–8.62	–10.98	–3.94	–2.86
Температура июля				
2015	24.53	24.97	20.05	21.81
2016	25.47	25.46	20.18	21.44
2017	25.36	27.30	19.39	21.28
2018	26.27	27.07	25.57	25.79

ется повышенными параметрами надземной фитомассы и сомкнутости травостоя.

Особенностью позднелетних и осенних пожаров является отсутствие в период формирования снежного покрова надземных растительных остатков. Это является причиной значительно меньшей мощности снежного покрова на гарях, чем на контрольных площадках, вплоть до полного его отсутствия на возвышенных поверхностях и выпуклых формах рельефа. Подобные условия являются причиной более существенного охлаждения почвенного профиля, выражающегося как в глубине, так и в интенсивности промерзания. Сокращенная мощность и фрагментарность залегания снежного покрова на гарях привела к тому, что, начиная с середины марта 2015 г., постоянно в дневное время отмечались положительные температуры и активное нарастание площади открытой поверхности. На естественных участках положительные температуры на поверхности (соответствующие времени оттаивания снега) установились примерно на две недели позже. После освобождения от снега график хода температуры поверхности приобретает более выраженный суточный характер, при этом с более выраженной амплитудой (как в отрицательные, так и в положительные значения) характеризуются гари. Еще более высокие суточные амплитуды (в среднем 15–25°C, максимум до 35–50°C) наблюдаются в течение всего теплого периода.

Выявлена четкая неоднородность температур поверхности в разрезе суток и всего безморозного сезона. Поэтому одной из методологических задач стало выявление общих особенностей теплового режима гарей. В связи с этим, получение данных и формулировка выводов должны основываться на выборе наиболее достоверного источ-

ника информации. В нашем исследовании потенциально проблемным стал вопрос интерпретации результатов с учетом локального (“точечного”) характера замеров. По этой же причине сложно анализировать данные дистанционных термометров (пирометров).

В этом отношении восполнить определенный пробел пространственных и временных данных позволяет использование материалов дистанционного зондирования Земли [14, 16, 17]. Пространственное разрешение доступных снимков *Landsat* исключает проблему излишней детализации, при этом его вполне достаточно для выявления термических особенностей степных участков. В качестве дополнительного источника сведений о термических особенностях гарей особый интерес вызывает интерпретация данных “тепловых” каналов спутниковых изображений. Ранее [6] на основе серии снимков *Landsat* был проведен анализ различий температуры поверхности между горелыми и негорелыми участками Буртинской степи после пожара 2010 г. Было выявлено, что в бесснежный период гари характеризуются постоянно повышенными значениями температур, в среднем на 2–4°C. Эти различия максимальны в летний период и постепенно снижаясь, прослеживались до окончания второго вегетационного года (осень 2012 г.). Таким образом, данные дистанционного зондирования могут служить основой для изучения постпирогенных процессов с учетом ландшафтно-экологической дифференциации территории. При этом необходимым этапом подобных исследований является натурная верификация полученных результатов.

Степные пожары оказывают на растительные сообщества как прямое, так и косвенное влияние. Собственно воздействие огня является кратковременным, в результате уничтожается (минерализуется) практически вся надземная фитомасса. При этом воздействие огня губительно, либо вызывает угнетение для одних групп видов (в первую очередь представителей древесно-кустарниковой флоры), в других случаях наоборот способствует активной вегетации в дальнейшем. Постпожарное состояние создает специфические условия для дальнейшего развития фитоценозов и отдельных групп растений. Так, более раннее освобождение от снега и прогревание поверхности в сочетании с достаточным увлажнением и отсутствием сплошного растительного покрова часто благоприятно сказывается на активном развитии весенних эфемеров и эфемероидов. Обилие тех или иных видов на первоначальных стадиях постпирогенных сукцессий может варьировать в зависимости от фенологической фазы на момент прохождения пожара, а в дальнейшем во многом лимитируется специфическими условиями развития. При этом очевидным является комплексное воздействие микроклиматических фак-

торов, но выделение лидирующей роли в изменении растительного покрова какого-либо одного из них не представляется возможным. Явным остается факт, что особенности микроклиматических параметров гарей приводят к изменению феноритмов. В целом для степей в климатическом состоянии пожары являются фактором стресса, приводящим к активной вегетации, цветению и плодоношению в последующие годы.

Экологические последствия прямо и косвенно отражаются на всех компонентах степных экосистем [8] и проявляются, в том числе, и через изменение микроклиматических условий. Как отмечал А.Н. Формозов еще в середине прошлого века [11], мощность и состояние снежного покрова являются одним из наиболее значимых факторов зимовки многих видов биоты. Так, для степных регионов в условиях малоснежья и глубокого промерзания почвы зимой 1935–1936 гг. автором указывалось вымерзание кубышек саранчовых, что послужило причиной снижения численности популяций различных групп и видов биоты, для которых саранчовые являются основой питания в теплый период. Этот пример показывает, насколько значимыми и долговременными могут быть экологические последствия несформированности снежного покрова — состояния, характерного для степных гарей, особенно в малоснежные годы.

В целом от общей площади природных степных подзон доля гарей в среднем составляет: северные степи — 2.5%, средние степи — 11%, южные степи — 14%, северные пустыни — 8%. В малоосвоенных сухостепных и пустынных регионах Северной Евразии (Прикаспий, Мугоджары, Приаралье) распространение пожаров не ограничено природными и антропогенными рубежами, в связи с чем площадь отдельных гарей может достигать 5–7 тыс. км². Такое обширное развитие травяных пожаров в сочетании с возросшей частотой их возникновения обуславливают повышение значимости пирогенного фактора в развитии травянистых экосистем на фоне трансформации термического режима территорий и условий их увлажнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроклиматические особенности травяных (степных) гарей существенно отличаются от фоновых, не затронутых огнем, участков и являются значимым и продолжительно действующим фактором их дальнейшего развития. Наиболее явными последствиями пожаров в этом случае являются: а) изменение теплового режима поверхности гарей; б) пониженная мощность снежного покрова, сокращение продолжительности его залегания и, как следствие, — усиленное промерзание грунта зимой и пониженное увлажнение в период снеготаяния; в) повышенная влажность грунта в

теплый период, обусловленная подтягиванием к поверхности и испарением почвенной влаги. Эти трансформации носят комплексный характер и формируют особые условия, на фоне которых происходят постпирогенные сукцессии. По температурным показателям восстановительные процессы можно считать в целом законченными спустя четыре полных вегетационных периода.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

FUNDING

The study was financially supported within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Steppe UB RAS (no. АААА-А17-117012610022-5) and by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 18-05-00088).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дусаева Г.Х. Динамика степных фитоценозов в первые годы после пожара (на примере мониторингового участка № 1 в “Буртинской степи” ГПЗ “Оренбургский”) // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2017. Т. 19. № 5. С. 8–13.
2. Иванов В.В. Степи Западного Казахстана в связи с динамикой их покрова. М.–Л.: АН СССР, 1958. 228 с.
3. Опарин М.Л., Опарина О.С. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экол. журн. 2003. № 2. С. 158–171.
4. Опыт организации мониторинговых исследований изменения степных экосистем после пожара: методы и подходы. Оренбург, 2017. 108 с.
5. Павлейчик В.М., Калмыкова О.Г., Сорока О.В. Особенности микроклиматического режима степных гарей на заповедном участке “Буртинская степь” // Проблемы регион. экол. 2016. № 4. С. 69–74.
6. Павлейчик В.М., Мячина К.В. Особенности термического режима земной поверхности после степных пожаров по данным спутников Landsat // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2016. № 4(192). С. 83–89.
7. Павлейчик В.М., Падалко Ю.А. Аномальное мало-снежье 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.
8. 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.
9. Тишков А.А. Пожары в степях и саваннах // Вопросы степеведения. 2009. Т. VII. С. 79–83.
10. Ткачук Т.Е. Динамика площадей степных пожаров на юге Даурии в первом десятилетии XXI века // Уч. Зап. Байкал. гос. ун-та. 2015. № 1 (60). С. 72–79.
11. Формозов А.Н. Снежный покров как фактор среды, его значение в жизни млекопитающих и птиц СССР. М.: Изд-во МОИП, 1946. 152 с.
12. Шинкаренко С.С. Анализ распространения степных пожаров и идентификация пожароопасных территорий на основе геоинформационных технологий // Научный альманах. 2015. № 8 (10). С. 1240–1244.
13. 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 Env. 2010. V. 114. P. 1638–1648.
14. Jimenez-Munoz J.-C., Sobrino J., Skokovic D., Mattar C., Cristóbal R. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data // Geoscience and Remote Sensing Let. IEEE. 2014. V. 11. P. 1840–1843.
15. Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts // Geogr. and Nat. Res. 2018. V. 39. № 3. P. 212–221.
16. Quintano C., Fernandez-Manso A., Calvo L., Marcos E., Valbuena L. Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems // Int. J. of Appl. Earth Observation and Geoinformation. 2015. V. 36. P. 1–12.
17. Veraverbeke S., Verstraeten W., Lhermitte S., Van De Kerchove R., Goossens R. Assessment of post-fire changes in land surface temperature and surface albedo, and their relation with fire – burn severity using multitemporal MODIS imagery // J. Wildland Fire. 2012. V. 21. P. 243–256.

Features of the Thermal Regime and Humidification of Post-Pyrogenic Steppe Landscapes

V. M. Pavleichik^{1, *}, O. G. Kalmykova¹, and O. V. Soroka²

¹Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Joint Directorate State Nature Reserves “Orenburg” and “Shaitan-Tau”, Orenburg, Russia

*e-mail: pavleychik@rambler.ru

The destruction by fire of the above-ground part of the vegetation cover leads to the formation of special microclimatic conditions for the subsequent restoration of the steppe ecosystems' components. In this regard, the analysis of long-term data (2015–2018) of autonomous recorders of temperature and humidity of the sur-

face of the burned areas, near-surface layers of soil and air in the Burtinskaya Steppe area of the Orenburg Nature Reserve (Orenburg oblast) was conducted. Information on the snow cover occurrence taken as a result of snow surveying and analysis of remote sensing data (images from MODIS and Landsat) was taken into account. It has been revealed that the absence of formed vegetation cover in winter periods leads to a reduction in the snow cover's thickness and duration of its presence. It is the cause of a more significant freezing of the soil at the burned areas and the deterioration of spring wetting conditions. The warm snowless period of the year is characterized by clearly pronounced daily amplitudes of the temperatures course, with an increased thermal background under conditions of increased insolation, both on the surface of the burned areas and in the near-surface layer of the soil. The results indicate that the microclimatic regime of burned areas in the first years after the fire is significantly different from the background areas. According to the considered indicators' long-term dynamics, the recovery processes can be considered completed after four complete vegetation periods after the fire.

Keywords: wildfires, steppe, burned areas, thermal regime, moisture conditions, vegetation cover, post-pyrogenic successions, monitoring

REFERENCES

1. Dusaeva G.Kh. Dynamics of steppe phytocenoses in the first years after the fire (on the example of the monitoring site no. 1 in the "Burtinskaya steppe" of the state nature reserve "Orenburg"). *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2017, vol. 19, no. 5, pp. 8–13. (In Russ.).
2. Ivanov V.V. *Stepi Zapadnogo Kazakhstana v svyazi s dinamikoikh pokrova* [Steppes of Western Kazakhstan due to the Dynamics of their Cover]. Moscow, Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1958. 228 p.
3. Oparin M.L., Oparina O.S. Influence of fires on the dynamics of steppe vegetation. *Povolzhskii Ekol. Zh.*, 2003, no. 2, pp. 158–171. (In Russ.).
4. *Opyt organizatsii monitoringovykh issledovaniy izmeneniya stepnykh ekosistem posle pozhara: metody i podkhody* [Experience of Organizing Monitoring Studies of Changes in Steppe Ecosystems after a Fire: Methods and Approaches]. Orenburg: Yuzhn. Ural Publ., 2017. 108 p.
5. Pavleichik V.M., Kalmykova O.G., Soroka O.V. Features of the microclimatic regime of steppe burned areas in the protected area "Burtinskaya steppe". *Probl. Reg. Ekol.*, 2016, no. 4, pp. 69–74. (In Russ.).
6. Pavleichik V.M., Myachina K.V. Features of the thermal regime of the earth's surface after steppe fires according to Landsat satellites. *Vestn. Orenburg. Gos. Univ.*, 2016, vol. 192, no. 4, pp. 83–89. (In Russ.).
7. Pavleichik V.M., Padalko Yu.A. Anomalous little snow and dust-snow storm in the Zavolzhsko-Uralskiy region in the winter of 2017–2018 (conditions of formation and potential consequences). *Ispol'zovanie i Okhrana Prirodn. Resursov v Rossii*, 2018, no. 2, pp. 89–96. (In Russ.).
8. *Stepnye pozhary i upravlenie pozharnoi situatsiei v stepnykh OOPT: ekologicheskie i prirodookhrannye aspekty. Analiticheskii obzor* [Steppe Fires and Fire Management in Steppe Nature Reserves: Ecological and Environmental Aspects. Analytical Review]. Moscow: Tsentr Okhrany Dikoy Prirody, 2015. 144 p.
9. Tishkov A.A. Fires in steppes and savannas. *Voprosy Stepevedeniya*, 2009, vol. 7, pp. 79–83. (In Russ.).
10. Tkachuk T.E. Dynamics of steppe fire areas in the South of Dauria in the first decade of the XXI century. *Uchen. Zap. Zabaikal. Gos. Univ.*, 2015, vol. 60, no. 1, pp. 72–79. (In Russ.).
11. Formozov A.N. *Snezhnyi pokrov kak faktor sredy, ego znachenie v zhizni mlekopitayushchikh i ptits SSSR* [Snow Cover as a Factor of the Environment, its Importance in the Life of Mammals and Birds in the USSR]. Moscow: MOIP Publ., 1946. 152 p.
12. Shinkarenko S.S. Analysis of the spread of steppe fires and identification of fire-dangerous territories based on geoinformation technologies. *Nauch. Almanakh*, 2015, vol. 10, no. 8, pp. 1240–1244. (In Russ.).
13. 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 Sens. Environ.*, 2010, vol. 114, pp. 1638–1648. doi 10.1016/j.rse.2010.02.010
14. Jimenez-Munoz J.-C., Sobrino J., Skokovic D., Matlar C., Cristóbal R. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 2014, vol. 11, pp. 1840–1843. doi 10.1109/LGRS.2014.2312032
15. Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geogr. Nat. Resour.*, 2018, vol. 39, no. 3, pp. 212–221. doi 10.1134/S1875372818030046
16. Quintano C., Fernandez-Manso A., Calvo L., Marcos E., Valbuena L. Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinform.*, 2015, vol. 36, pp. 1–12. doi 10.1016/j.jag.2014.10.015
17. Veraverbeke S., Verstraeten W., Lhermitte S., Van De Kerchove R., Goossens R. Assessment of post-fire changes in land surface temperature and surface albedo, and their relation with fire – burn severity using multitemporal MODIS imagery. *Int. J. Wildland Fire*, 2012, vol. 21, pp. 243–256. doi 10.1071/WF10075