

## Оценка тепловых карт подстилающей поверхности на участках вырубок по данным Landsat

К. В. Краснощеков<sup>1,2</sup>, А. В. Дергунов<sup>1,2</sup>, Е. И. Пономарев<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, 660036, Россия  
E-mail: krasko@icm.krasn.ru

<sup>2</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН  
Красноярского научного центра СО РАН  
Красноярск, 660036, Россия

<sup>3</sup> Институт леса им В. Н. Сукачева СО РАН Красноярского  
научного центра СО РАН, Красноярск, 660036, Россия  
E-mail: evg@ksc.krasn.ru

Долговременный отклик спектральных признаков растительности на антропогенное воздействие зафиксирован не только при спутниковой съёмке в «вегетационных» каналах, но и в инфракрасном диапазоне. В работе рассмотрена динамика превышений температуры подстилающей поверхности на локальных участках вырубок в сравнении с фоновыми значениями. Исследования выполнены преимущественно для сосновых насаждений территории Приангарья (Красноярский край) по материалам Landsat-5/TM и Landsat-8/OLI в вегетационные периоды 2000–2017 гг. Установлено, что повышенные температуры на участках вырубок сохраняются не менее 15 лет, а превышение температуры над фоновыми значениями (3–7 °С) в условиях наблюдаемых сукцессионных процессов составляет не менее 10 %. Выполнен анализ скорости выравнивания аномальных в сравнении с фоном значений температуры и индекса NDVI на вырубках в течение рассматриваемого периода времени (17 лет), что определяется процессами восстановления растительности. Также в качестве лимитирующего фактора восстановления температурного фона, как и фона индекса NDVI подстилающей поверхности, могут выступать пожары.

**Ключевые слова:** вырубки, подстилающая поверхность, спектральные характеристики, температура, NDVI, Landsat, растительный покров, карта температур, лесной пожар

Одобрена к печати: 01.04.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-87-97

### Введение

Леса Сибири подвергаются комплексному воздействию, связанному как с природно-климатическими процессами, так и с возрастающим уровнем антропогенного фактора, в частности интенсификацией процессов заготовки древесины. Как правило, основное внимание уделяется пожарам растительности как важнейшему фактору нарушенности лесов Сибири, где фиксируется до 70 % общего количества возгораний Евразии. Масштабы этого воздействия эффективно анализировать посредством дистанционного мониторинга (Лупян и др., 2017; Пономарев, Швецов, 2015). В современных условиях для территории Сибири выявлено ужесточение пожарных режимов, повышение уровня горимости лесов, увеличение частоты возникновения пожаров и площадей, подверженных пирогенному фактору (Харук, Пономарев, 2017; Flannigan et al., 2009). В ряде публикаций (Иванов и др., 2011; Kukavskaya et al., 2013) констатируется связь вырубок с частотой лесных пожаров. Этот факт определяет расширение области применения инструментального спутникового мониторинга состояния вырубок. Масштабы рубок и последующие процессы (восстановление подстилки и напочвенного покрова, лесовосстановление, процессы в верхних горизонтах или в сезонно-талом слое почв) изучены недостаточно, а инструментально полученные оценки состояния и динамики растительных покровов на вырубках в масштабах Сибири практически не приводятся в публикациях. Для проведения анализа такого рода исходным материалом могут служить данные спутниковых съёмок (Иванов и др., 2011; Huttich et al., 2014).

Не только лесозаготовительные процессы причиняют ущерб растительности, но и лесные пожары. Согласно некоторым публикациям, ежегодная площадь гарей в России оценивается от 4 до 20 млн га (Conard et al., 2002; Shvidenko, Schepaschenko, 2013). По официальным данным, годовая площадь гарей составила 0,55–2,4 млн га (Федеральная служба государственной статистики, <http://www.gks.ru>). Более 70 % и до 90 % от общей площади пожаров в России приходится на Сибирь (Forkel et al., 2012; Shvidenko, Schepaschenko, 2013).

Как правило, для мониторинга восстановления растительности принято использовать инвариантные вегетационные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), SWVI (Short Wave Vegetation Index), которые связаны с количеством фотосинтезирующей биомассы. Все они активно используются для мониторинга нарушенных участков лесной растительности (Барталев и др., 2016; Богданов и др., 2018). Однако оценивать восстановление лесного покрова с применением только вегетационных индексов не всегда корректно. Дешифровочные признаки повреждённых растительных покровов, регистрируемые в «вегетационных каналах», достаточно быстро теряются (Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2016). Так, на территории вырубки в условиях избыточного освещения может активно восстанавливаться травяной покров. В качестве альтернативы применим метод оценки потери углерода лесными экосистемами, который описан в работе (Барталев и др., 2009), или метод выявления изменений на основе использования изображений в сочетании с данными предыдущей лесоинвентаризации.

Основная цель данной работы — тематический анализ спектральных характеристик повреждённой растительности на участках сплошных рубок, включая температурное поле, и их динамики по материалам мультиспектральных съёмок Landsat за 2000–2017 гг. Были рассмотрены следующие аспекты проблемы: 1) степень вариации спектральных характеристик участков сплошных рубок в сравнении с фоновыми значениями; 2) динамика относительной разности температуры подстилающей поверхности в сравнении с фоном в процессе восстановления растительного покрова.

Под превышением температуры подстилающей поверхности в данном случае понимаем локальные изменения радиояркостной температуры на участках нарушенной растительности по сравнению с температурой фоновых неповреждённых лесных участков.

## Район исследований

Анализ данных дистанционного зондирования Земли выполнялся для территории Приангарского лесного района (52–58° с. ш., 96–108° в. д.), общая площадь ~774,8 тыс. км<sup>2</sup>. На севере и северо-востоке этой территории расположены области с островной и сезонной мерзлотой, где произрастает до 6 % всех лесов России (Чжан и др., 2012). Общий запас древесины в лесах региона составляет 9,2 млрд м<sup>3</sup> (в том числе в спелых и перестойных лесах — 5,4 млрд м<sup>3</sup>), из них в древостоях с преобладанием хвойных пород — 7 млрд м<sup>3</sup>. Хвойные формации занимают 47,4 млн га, или 80,5 % общей площади лесов. Наибольшее хозяйственное значение имеют сосняки (*Pinus sylvestris*), кедровники (*Pinus sibirica*) и лиственничники (*Larix sibirica*). В настоящее время на долю хвойных формаций приходится 80,9 % общей площади лесов, на долю лиственных — 19,1 %. Активную заготовку древесины и масштабы воздействия на древостои наглядно демонстрирует следующая статистика: доля сосняков в общей площади лесов снизилась с 29,2 до 27,4 %; лиственничников — с 32,9 до 32,5 %; кедровников — с 13,3 до 12,3 %; ельников (*Picea abies*) — с 6,4 до 5,8 %; пихтарников (*Abies sibirica*) — с 3,1 до 2,9 % (Чжан и др., 2012).

В связи с описанными причинами нарушения лесной растительности остро стоит вопрос мониторинга состояния и динамики нарушенных участков леса.

Для детального исследования был выделен район площадью ~75 км<sup>2</sup> с наибольшей, по визуальной оценке, степенью антропогенного воздействия, связанного с лесозаготовительной активностью (рис. 1).

На рис. 1 приведён снимок исследуемого района на территории Приангарья со спутника Landsat-8/OLI.



Рис. 1. Исследуемый район. 1 — местоположение участка активных лесозаготовок

Интенсивные лесозаготовительные процессы наблюдаются на правом берегу р. Ангары, где на снимке визуально дешифрируется большое количество вырубок. По нашим наблюдениям, в 2000 г. количество вырубок на данной территории составляло около 8–10, а их площадь была равна ~1000 га. Однако по состоянию на 2017 г. их количество превысило 200, общая площадь составила ~23000 га.

## Материалы и методы

В работе в качестве индикатора долговременного проявления эффекта избыточной инсоляции и теплообеспеченности территории после рубок предлагается использовать данные об относительной величине радиояркостной температуры подстилающей поверхности по отношению к фоновым значениям.

Усреднение совокупности данных Landsat в тепловом диапазоне (канал В6 — Landsat-5/TM,  $\lambda = 10,4–12,5$  нм; канал В10 — Landsat-8/OLI,  $\lambda = 10,6–11,9$  нм) на локальном участке позволяет построить так называемую тепловую карту территории. Тепловой инфракрасный диапазон имеет широкую полосу от 0,78 до 1000 мкм. В дистанционном зондировании Земли из космоса тепловой диапазон понимается более узко, поскольку в диапазоне 8,0–14,0 мкм озоновый слой земной атмосферы ( $O_3$ ) поглощает большое количество теплового излучения с длиной волны от 9,2 до 10,2 мкм. Поэтому спутниковые системы инфракрасного теплового зондирования регистрируют данные только в промежутках 8,0–9,2 и 10,5–12,5 мкм, соответствующих окнам прозрачности атмосферы, для исключения этого участка поглощения электромагнитных волн (Jimenez-Munoz et al., 2014)

В работе использовалась информация из открытого архива USGS (US Geological Survey, <https://earthexplorer.usgs.gov>). Известно, что изображения поверхности Земли со спутников

Landsat-5/TM и Landsat-8/OLI для одной и той же сцены формируются один раз в 16 дней, но на практике, в связи с неблагоприятными погодными условиями и задымлением от пожаров, не всегда удаётся использовать данные с такой периодичностью (Кашкин, Сухинин, 2001). Возможность сбора полного ряда космических снимков всегда ограничена, поэтому исследование динамики тепловых полей в районе Приангарья было проведено на основе доступных 11 сцен за различные годы (таблица), выполненных со спутников Landsat-5/TM и Landsat-8/OLI. Использовались снимки с низким процентом облачности (<20 %).

Исходная база данных космических снимков

№ сцены	Год	Декада/месяц фенологического цикла	Номер столбца	Номер строки	Спутник
1	2000	III/август	140	019	Landsat-5
2	2004	III/август			
3	2005	II/июнь			
4	2007	III/июль			
5	2009	II/июль			
6	2011	I/июль			Landsat-8
7	2013	II/июнь			
8	2014	I/июль			
9	2015	I/июнь			
10	2016	III/июнь			
11	2017	II/август			

Для определения температуры подстилающей поверхности проводилась процедура по-пиксельной калибровки сцен с последующим вычислением значений радиояркостной температуры для нарушенных и фоновых участков в непосредственной близости от вырубок.

Расчёт радиояркостной температуры подстилающей поверхности производится после проведения радиометрической коррекции. Для осуществления радиометрической коррекции использовались следующие формулы (Mishra et al., 2014):

$$p = \frac{\pi R d^2}{E \cdot \sin \theta}, \tag{1}$$

$$R = M_R Q + A_R, \tag{2}$$

где  $p$  — значение отражательной способности (альbedo);  $R$  — интенсивность излучения от объекта на высоте орбиты спутника Landsat;  $d$  — расстояние между Землёй и Солнцем;  $E$  — коэффициент светимости для заданного канала;  $\theta$  — высота стояния Солнца над горизонтом в момент съёмки.

Калибровочные коэффициенты  $M_R$  (RADIANCE\_MULT) и  $A_R$  (RADIANCE\_ADD) для используемых каналов указаны в файлах метаданных, прилагаемых к цифровым космическим снимкам;  $Q$  — дискретное калиброванное значение пикселя.

По значениям яркости пикселей теплового канала можно определить радиояркостную температуру подстилающей поверхности. Теоретически точность определения температуры — около 0,5 °С, однако состояние атмосферы может занижить получаемые значения (Кашкин, Сухинин, 2001).

Исходными данными для определения температуры служат значения интенсивности излучения ( $R$ ), пришедшего на сенсор спутника и зарегистрированного соответствующим тепловым каналом. Значение величины  $R$  определялось по формуле (2).

Температура ( $T$ ) подстилающей поверхности рассчитывалась по формуле:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{R} + 1\right)} - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}. \tag{3}$$

Значения калибровочных констант  $K_1$  и  $K_2$  приведены в файлах метаданных (Zanter, 2018).

В результате для 2000–2017 гг. были получены карты распределения температуры подстилающей поверхности. Наибольшие значения температур фиксируются на ряде объектов: природных — облака, гари, реки; антропогенных — города, дороги, вырубки (рис. 2).

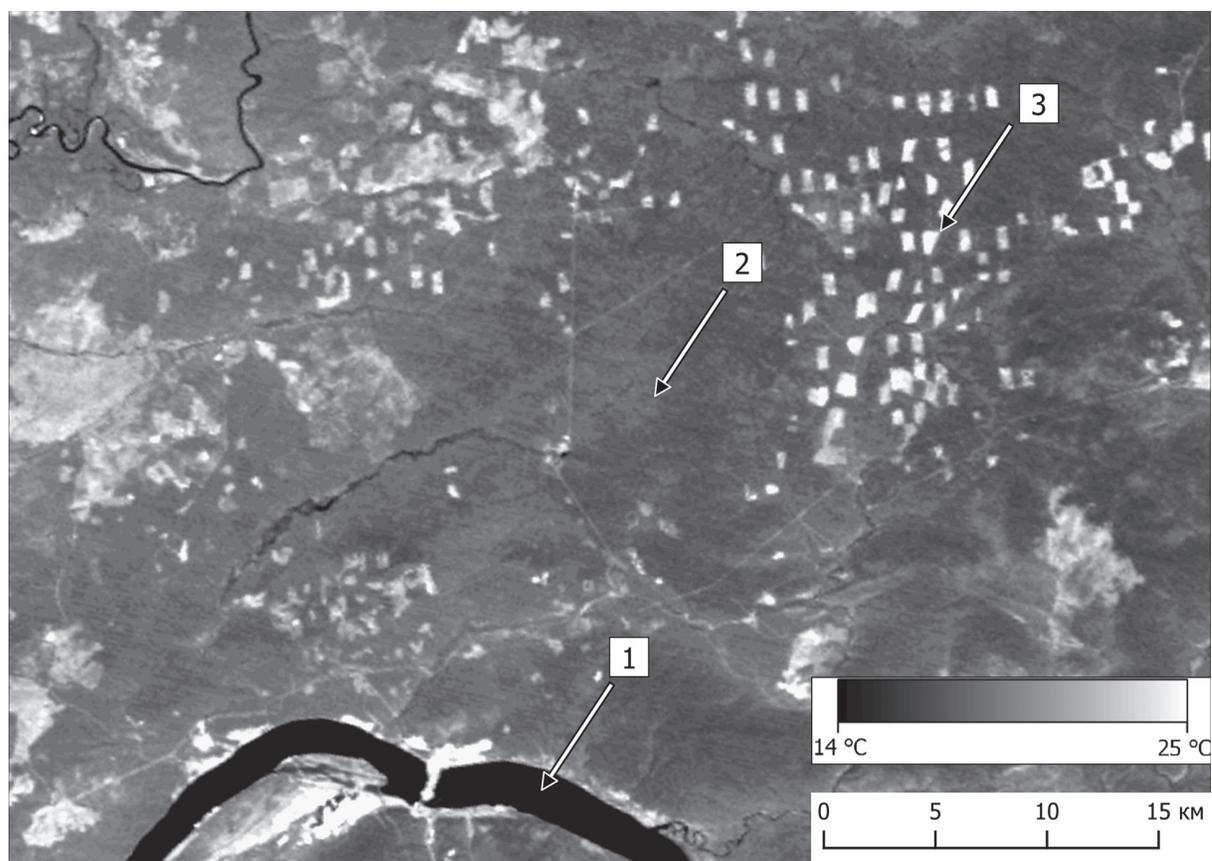


Рис. 2. Пример изображения исследуемой территории в тепловом диапазоне 14.06.2005. 1 — река, 2 — древостой, 3 — вырубки

В связи с довольно низким временным разрешением использованной космической информации, ограниченным задымлением и высокой облачностью, только 7 участков с нарушенной растительностью (вырубки) оказались доступны для многолетнего мониторинга состояния на всех 11 рассматриваемых сценах.

Каждая отдельная вырубка была представлена векторным полигональным ГИС-покрытием. Для этого проводилась процедура векторизации изображений вырубок. Также были получены точечные слои, содержащие значения радиояркостной температуры для серий точек в границах каждого полигона вырубки. Средняя температура поверхности для каждой вырубки вычислялась по измерениям для всех точек, зафиксированных в границах полигона. На рис. 3 (см. с. 92) представлены изображения семи исследуемых вырубок в ИК-диапазоне. Здесь же показаны точки, по которым усредняли значения температуры для каждой вырубки.

Относительную величину превышения температуры нарушенных участков ( $q_t$ ) над фоном определяли как:

$$q_t = \frac{t_a}{t_f}, \quad (4)$$

где  $t_a$  — средняя температура вырубки;  $t_f$  — среднее фоновое значение температуры фона.

Динамика была рассмотрена на временном интервале 2000–2017 гг. (см. таблицу).

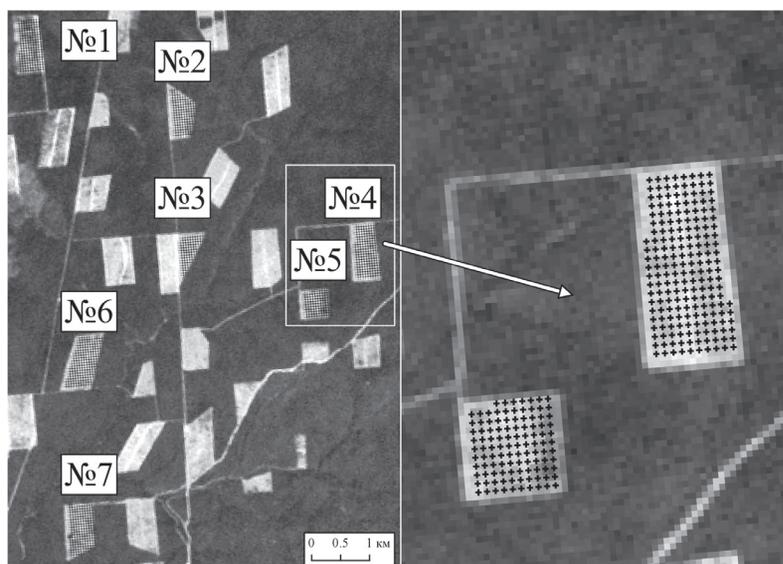


Рис. 3. Попиксельный анализ значений радиояркостной температуры в пределах вырубки. Съёмка Landsat-5 2005 г.

### Результаты и их обсуждение

Обобщённые результаты, характеризующие долговременную динамику относительного показателя превышения температур подстилающей поверхности исследуемых объектов  $q_t$  в сравнении с фоновыми значениями, показывают, что повышенный прогрев поверхности нарушенных участков леса сохраняется как минимум в течение 15 лет.

На рис. 4 представлены графики вариаций относительного показателя  $q_t$  за период 2004–2017 гг. по семи исследуемым участкам сплошных вырубок.

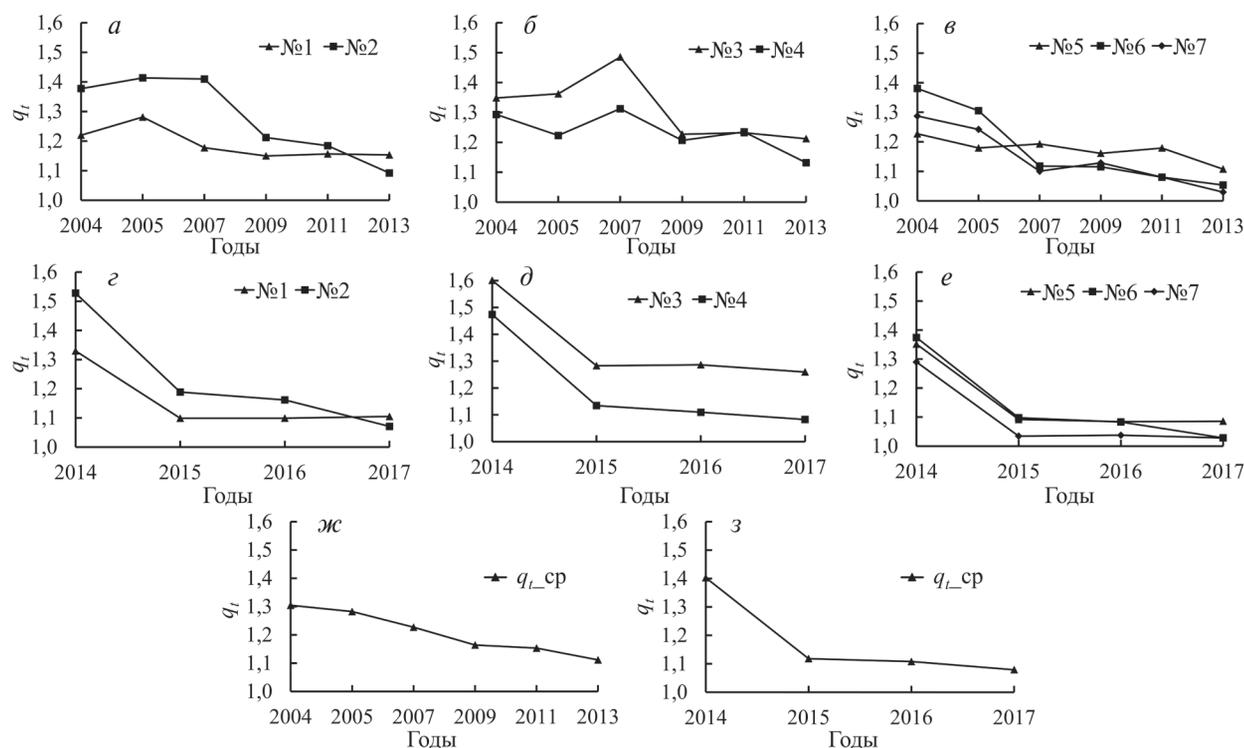


Рис. 4. Вариации относительного показателя  $q_t$  по семи исследуемым участкам: а, б, в, ж — для 2004–2013 гг.; г, д, е, з — для 2014–2017 гг.

В начальный срок, перед вырубкой 2000 г., значения параметра  $q_t$  всех семи исследуемых участков были взяты за единицу.

На рис. 4 отражено, что с 2004 г. значения параметра  $q_t$  уменьшаются вплоть до 2013 г. Последующее резкое повышение показателя связано с лесным пожаром, произошедшим на исследуемой территории. После 2014 г. параметр  $q_t$  снова имеет тенденцию к снижению. Также линии усреднённых значений параметра  $q_t$  по всем семи исследуемым вырубкам на рис. 4ж, з характеризуют тенденцию к его уменьшению в течение всего рассмотренного периода, что и характеризует степень восстановления растительного покрова на исследуемых территориях рубок.

Отклонения температуры подстилающей поверхности исследуемых участков от теплового поля фоновых участков оставались значимыми и после 15 лет восстановительных сукцессий. Превышение относительно фоновых значений зафиксировано на уровне ~11%. Отмеченные в летние периоды абсолютные максимумы превышения температуры над фоновыми значениями составляли: в первый год — более 7 °С, через пять лет — не менее 5 °С, через десять лет восстановления — не менее 3 °С.

Дополнительно мы проанализировали значения индекса NDVI для исследуемых участков.

Для оценки изменения NDVI на участках нарушенной растительности относительно фоновых значений для неповреждённых древостоев был введён параметр  $q_v$ , который рассчитывался как отношение среднего значения NDVI каждого из семи исследуемых участков нарушенной растительности ( $v_a$ ) к средним фоновым значениям леса ( $v_f$ ):

$$q_v = \frac{v_a}{v_f}. \quad (5)$$

На рис. 5 показаны вариации значений  $q_v$  для семи исследуемых участков. Пунктирной линией обозначен «порог», равный 1. Значения  $q_v$  ниже «порога» характеризуют нарушенный участок леса, а выше «порога» — превышение средних фоновых значений NDVI. Можно отметить, что с течением времени величины  $q_v$  варьируют в значительных пределах.

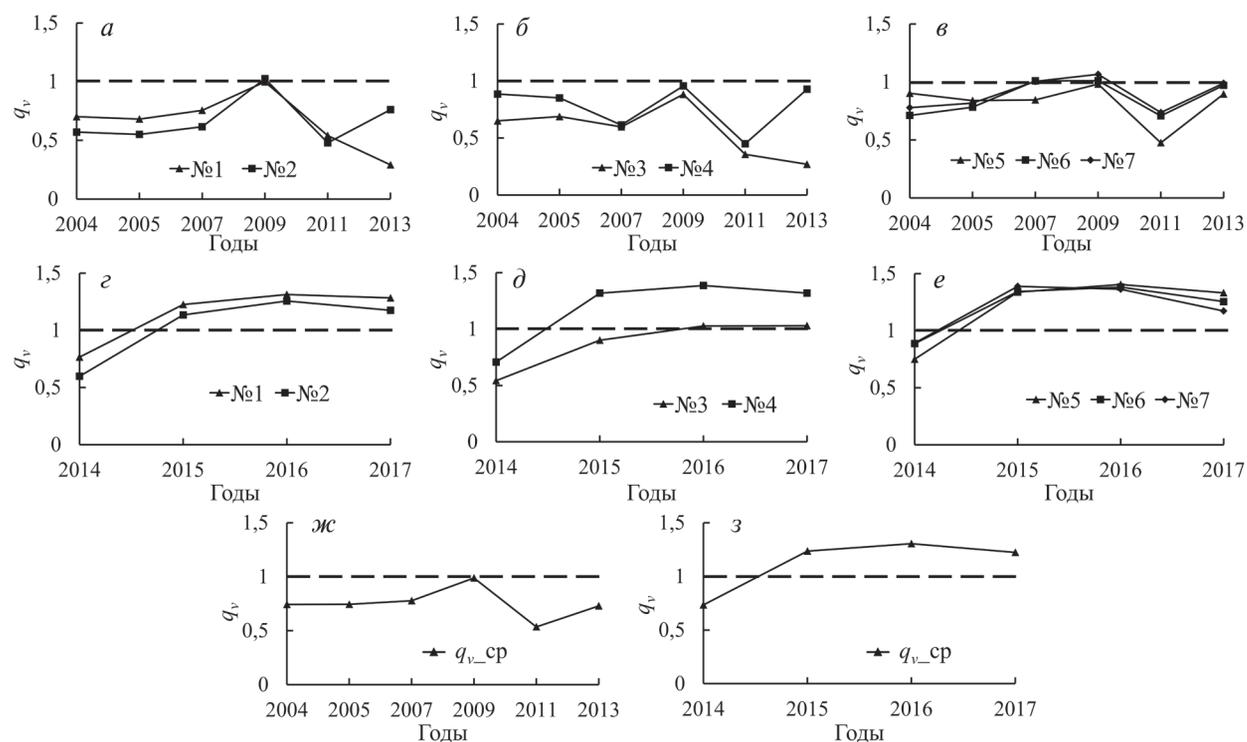


Рис. 5. Вариации значений  $q_v$  по семи исследуемым участкам: а, б, в, ж — для 2004–2013 гг.; г, д, е, з — для 2014–2017 гг.

Например, на участках № 1, 2, 5, 6 и 7 с 2004 по 2009 г. происходит увеличение значений параметра  $q_v$  вплоть до «порогового» уровня, затем происходит его резкое снижение. С 2011 г. значения  $q_v$  на участках № 2, 4, 5, 6 и 7 вновь увеличиваются. В 2014 г. после воздействия пожара на территории семи исследуемых участков параметр  $q_v$  уменьшился, после чего вновь началось его увеличение до значений, превышающих «пороговый» уровень. Можно предположить, что полученные данные свидетельствуют о высокой скорости восстановления на данной территории травяного покрова и травяно-кустарникового яруса сразу после появления вырубок или прошедшего пожара. При этом очевидно, что за такой короткий срок восстановительной сукцессии наблюдаемая динамика определяется не восстановлением древостоя, а в большей степени восстановлением травяного покрова, кустарникового яруса или лиственных и хвойных молодняков.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что вегетационные индексы не всегда подходят для наблюдений за процессом восстановления древостоя после нанесённого ущерба пожарами или в ходе лесозаготовок. В то же время превышение температуры как фактора, отражающего состояние и восстановительную динамику нарушенного растительного покрова, наблюдается над нарушенными участками леса вплоть до 15 лет. Скорость выравнивания аномалий в температурных режимах определяется лесорастительными условиями, способствующими восстановлению как подстилки и напочвенного покрова, так и древесного полога, выполняющих роль регуляторов теплового режима.

Скорость процесса восстановления древостоя определяется условиями лесопроизрастания и внешними физико-географическими и метеорологическими условиями. Совместно с рубками дополнительным лимитирующим фактором восстановления лесного покрова могут служить низовые пожары, как это было отмечено на примере пожара по рубке 2014 г.

## Выводы

Показано, что превышение температуры на нарушенных участках светлохвойной тайги Средней Сибири сохраняется на протяжении более 15 лет после рубки. Превышение температуры над фоновыми значениями составляет не менее 10 % даже в условиях активного восстановления травяного яруса и сукцессионных процессов лесовосстановления. Отклик на антропогенные нарушения имеет долговременное проявление не только в спектральных признаках «вегетационных» каналов спутниковой съёмки, но в значительно большей степени в тепловом диапазоне. Эта особенность позволяет эффективно проводить более долговременный анализ состояния и динамики нарушенных лесных районов с использованием тепловых полей, восстанавливаемых дистанционными методами.

Работа выполнена в рамках тем № 0356-2017-0739 и 0356-2018-0052 при поддержке РФФИ, правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки («Радиометрический метод количественного анализа структурной организации почвы» № 17-04-00589А, «Моделирование и спутниковый мониторинг эффектов от температурных аномалий подстилающей поверхности в сезонно-талом слое почв криолитозоны Сибири» № 18-41-242003). Использованы технические возможности приёмных комплексов Центра коллективного пользования и Единого регионального центра ДЗ ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск.

## Литература

1. *Барталев С. А., Ховратович Т. С., Елсаков В. В.* Использование спутниковых изображений для оценки потерь углерода лесными экосистемами в результате рубок // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 343–351.
2. *Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

3. Богданов А. П., Карпов А. А., Демина Н. А., Алешко Р. А. Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесоуправления // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 89–100.
4. Иванов В. А., Иванова Г. А., Москальченко С. А., Коршунов Н. А., Пономарёв Е. И. Связь частоты лесных пожаров со степенью нарушенности лесных территорий Нижнего Приангарья // Лесное хозяйство. 2011. № 1. С. 39–41.
5. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001. 246 с.
6. Лупян Е. А., Барталев С. А., Балашов И. В., Егоров В. А., Ершов Д. В., Кобец Д. А., Сенько К. С., Стыценко Ф. В., Сычугов И. Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в XX веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
7. Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. С. 84–91.
8. Пономарев Е. И., Пономарева Т. В. Дистанционный мониторинг послепожарных эффектов в криолитозоне Средней Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 85–95.
9. Харук В. И., Пономарев Е. И. Пространственно-временная горимость лиственничников Центральной Сибири // Экология. 2017. № 6. С. 413–419.
10. Чжан С. А., Рунова Е. М., Пузанова О. А., Чжан Л. А. Закономерности роста и развития древостоев в условиях Приангарья // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4. С. 166–170.
11. Conard S. G., Sukhinin A. I., Stocks B. J., Cahoon D. R., Davidenko E. P., Ivanova G. A. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia // Climatic Change. 2002. V. 55. No. 1–2. P. 197–211.
12. Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // Global Change Biology. 2009. V. 15. No. 3. P. 549–560.
13. Forkel M., Thonicke K., Beer C., Cramer W., Bartalev S., Schmullius C. Extreme fire events are related to previous-year surface moisture conditions in permafrost-underlain larch forests of Siberia // Environmental Research Letters. 2012. V. 7. No. 4. 9 p.
14. Huttich C., Stelmaszczyk-Gorska M. A., Eberle J., Kotzerke P., Schmullius C. Operational forest monitoring in Siberia using multi-source earth observation data // Siberian J. Forest Science. 2014. V. 1. No. 5. P. 38–52.
15. Jimenez-Munoz J. C., Sobrino J. A., Skokovic D., Mattar C., Cristobal J. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2014. V. 11. No. 10. P. 1840–1843.
16. Kukavskaya E. A., Buryak L. V., Ivanova G. A., Conard S. G., Kalenskaya O. P., Zhila S. V., McRae D. J. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia // Environmental Research Letters. 2013. No. 8. 11 p.
17. Mishra N., MdHaque O., Leigh L., Aaron D., Helder D., Markham B. Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) // Remote Sensing. 2014. V. 6. P. 12619–12638.
18. Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Ranson K. J. Wildfires dynamics in Siberian larch forests // Forests. 2016. V. 7. No. 6. 125 p.
19. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate change and wildfires in Russia // Contemporary Problems of Ecology. 2013. V. 6. No. 7. P. 683–692.
20. Zanter K. Landsat 8 (L8) data users handbook: Version 3.0. Sioux Falls, South Dakota: EROS, 2018. 106 p. URL: [https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574\\_L8\\_Data\\_Users\\_Handbook.pdf](https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook.pdf) (Jan. 24, 2019).

## Evaluation of underlying surface temperature maps on logging sites using Landsat data

K. V. Krasnoshchekov<sup>1,2</sup>, A. V. Dergunov<sup>1,2</sup>, E. I. Ponomarev<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk 660036, Russia  
E-mail: krasko@icm.krasn.ru

<sup>2</sup> Institute of Computational Modelling SB RAS,  
Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk 660036, Russia

<sup>3</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS,  
Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk 660036, Russia  
E-mail: evg@ksc.krasn.ru

The long-term response in vegetation spectral signatures after anthropogenic impact was observed on satellite imagery not only in “vegetation” channels but in IR range as well. In this paper the dynamics of exceeding underlying surface temperatures was considered for local areas of logging in comparison with background values. The study was performed for pine forests of the Priangarie region (Krasnoyarskiy Krai) mainly using Landsat-5/TM and Landsat-8/OLI data for vegetation seasons of 2000–2017. It has been established that high surface temperatures at logging sites kept for at least 15 years, and the difference between them and background values (3–7 °C) was at least 10 % during succession processes. The rate of temperature anomalies and NDVI indices leveling was analyzed at logging sites comparing with the background values for the considered period (17 years), which is determined by the processes of vegetation restoration. Wildfires should be considered as a limiting factor for both temperature regime restoration and NDVI of underlying surface.

**Keywords:** logging sites, underlying surface, spectral characteristics, temperature, NDVI, Landsat, vegetation cover, thermal map, wildfire

Accepted: 01.04.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-87-97

### References

1. Bartalev S. A., Khovratovich T. S., Elsakov V. V., Ispol'zovanie sputnikovykh izobrazhenii dlya otsenki poter' ugleroda lesnymi ekosistemami v rezul'tate vyrubok (Estimation of carbon losses in a forest ecosystem caused by logging with the use of satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 2, pp. 343–351.
2. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* (Satellite Mapping of Vegetation Cover Russia), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p.
3. Bogdanov A. P., Karpov A. A., Demina N. A., Aleshko R. A., Sovershenstvovaniye monitoringa lesov putem ispol'zovaniya oblachnykh tekhnologii kak elementa ustoichivogo lesoupravleniya (Improving forest monitoring by using cloud technologies as an element of sustainable forest management), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 1, pp. 89–100.
4. Ivanov V. A., Ivanova G. A., Moskalchenko S. A., Korshunov N. A., Ponomarev E. I., Svyaz' chastoty lesnykh pozharov so stepen'yu narushennosti lesnykh territorii Nizhnego Priangar'ya (The relationship of the frequency of forest fires with the degree of disturbance of forest areas of the Lower Angara region), *Lesnoe khozyaistvo*, 2011, No. 1, pp. 39–41.
5. Kashkin V. B., Sukhinin A. I., *Distantsionnoe zondirovaniye Zemli iz kosmosa. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* (Remote sensing of the Earth from space. Digital image processing), Moscow: Logos, 2001, 246 p.
6. Loupian E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V., Egorov V. A., Ershov D. V., Kobets D. A., Senko K. S., Stytsenko F. V., Sychugov I. G., *Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v XX veke na territorii Rossiiskoi Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya)* (Satellite monitoring of forest fires in the XX century on the territory of the Russian Federation (figures and facts according to active combustion detection)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 158–175.

7. Ponomarev E. I., Shvetsov E. G., Sputnikovoe detektirovanie lesnykh pozharov i geoinformatsionnye metody kalibrovki rezul'tatov (Satellite detection of forest fires and geo-information methods for calibrating results), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2015, No. 1, pp. 84–91.
8. Ponomarev E. I., Ponomareva T. V., Distsionnyi monitoring poslepozharnykh effektov v kriolitozone Srednei Sibiri (Remote monitoring of post-fire effects in the permafrost zone of Central Siberia), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 85–95.
9. Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Prostranstvenno-vremennaya gorimost' listvennichnikov Tsentral'noi Sibiri (Spatio-temporal incidence of larch forests in Central Siberia), *Ekologiya*, 2017, No. 6, pp. 413–419.
10. Zhang S. A., Runova E. M., Puzanova O. A., Zhang L. A., Zakonomernosti rosta i razvitiya drevostoev v usloviyakh Priangar'ya (Regularities of growth and development of tree stands in the conditions of the Angara region), *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2012, No. 4, pp. 166–170.
11. Conard S. G., Sukhinin A. I., Stocks B. J., Cahoon D. R., Davidenko E. P., Ivanova G. A., Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia, *Climatic Change*, 2002, Vol. 55, No. 1–2, pp. 197–211.
12. Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M., Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest, *Global Change Biology*, 2009, Vol. 15, No. 3, pp. 549–560.
13. Forkel M., Thonicke K., Beer C., Cramer W., Bartalev S., Schmullius C., Extreme fire events are related to previous-year surface moisture conditions in permafrost-underlain larch forests of Siberia, *Environmental Research Letters*, 2012, Vol. 7, No. 4, 9 p.
14. Huttich C., Stelmaszczuk-Gorska M. A., Eberle J., Kotzerke P., Schmullius C., Operational forest monitoring in Siberia using multi-source earth observation data, *Siberian J. Forest Science*, 2014, Vol. 1, No. 5, pp. 38–52.
15. Jimenez-Munoz J. C., Sobrino J. A., Skokovic D., Mattar C., Cristobal J., Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2014, Vol. 11, No. 10, pp. 1840–1843.
16. Kukavskaya E. A., Buryak L. V., Ivanova G. A., Conard S. G., Kalenskaya O. P., Zhila S. V., McRae D. J., Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia, *Environmental Research Letters*, 2013, No. 8, 11 p.
17. Mishra N., MdHaque O., Leigh L., Aaron D., Helder D., Markham B., Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), *Remote Sensing*, 2014, No. 6, pp. 12619–12638.
18. Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Ranson K. J., Wildfires dynamics in Siberian larch forests, *Forests*, 2016, Vol. 7, No. 6, 125 p.
19. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G., Climate change and wildfires in Russia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 7, pp. 683–692.
20. Zanter K., *Landsat 8 (L8) data users handbook: Version 3.0*, Sioux Falls, South Dakota: EROS, 2018, 106 p. Available at: [https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574\\_L8\\_Data\\_Users\\_Handbook.pdf](https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook.pdf) (Jan. 24, 2019).