

Карта нарушений растительного покрова Пинежского заповедника с конца XVIII по начало XXI веков

С.Ю. Попов¹, Л.В. Пучнина²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991, Москва, Россия

E-mail: s_yu_popov@rambler.ru

²Государственный природный заповедник «Пинежский»
164610, п. Пинега, Архангельская область, Россия

E-mail: pinzapno@mail.ru

Пинежский заповедник находится в подзоне северной тайги Европейской России, где лесопользование было начато сравнительно недавно – в начале XX века. За последние 200 лет на территории заповедника зафиксировано несколько крупных гарей. Сплошные рубки в лесах заповедника были начаты в 1960-х годах. В охранной зоне они продолжают по настоящее время. Выявление гарей, произошедших до 1975 г., производилось методом актуализации старых карт по снимкам Landsat 1988 и 2001 гг., основанном на дискриминантном анализе. Выявление вырубок и гарей, произошедших после 1975 г., производилось методом классификации синтезированных изображений пар снимков Landsat за 1975–2014 гг. Путем объединения слоев, полученных этими двумя способами, была составлена карта нарушений растительного покрова заповедника за последние 200 лет. Исследовано заповедное ядро и охранная зона ГПЗ «Пинежский». Установлено, что до начала XX века на этой территории единственным видом нарушения были лесные пожары. На основе архивных данных и результатов дешифрирования снимков произведена датировка нарушений. Картографические данные позволили определить площадь нарушений за разные периоды и породный состав лесов на их месте.

Ключевые слова: карта нарушений, Landsat, вырубки, гари, синтезированные изображения, дискриминантный анализ

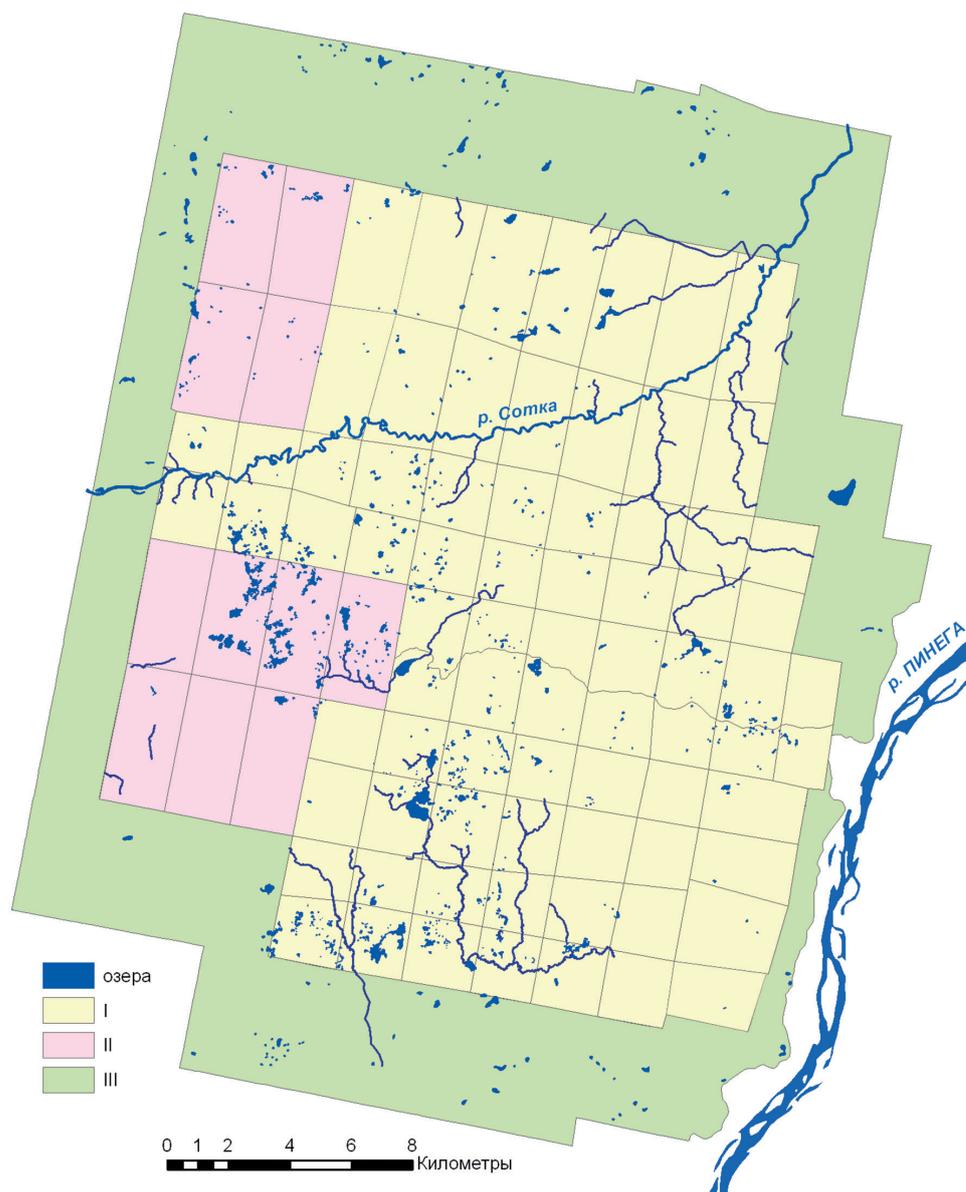
Одобрена к печати: 13.01.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-147-156

Введение

Государственный природный заповедник «Пинежский» расположен на севере Архангельской области, в Пинежском административном районе, примерно в 120 км к востоку от г. Архангельска.

Заповедник был образован в 1974 году. Часть его территории принадлежала ранее Холмогорскому, часть – Пинежскому лесхозам. Изначально территория заповедника состояла из 76 кварталов этих лесхозов, площадь его составляла 41 244 га. В 1984 г. решением Архангельского облисполкома создается охранная зона (ОЗ) вдоль северной, западной и южной границ заповедника, а в 1991 г. – вдоль восточной границы. В 1996 г. к территории Пинежского заповедника было добавлено 11 кварталов, в 1997 г. создана ОЗ вдоль новой границы заповедника. В 2014 г. на территории заповедника было проведено лесоустройство, в ходе которого была изменена квартальная сеть (размер кварталов изменился с 2×4 км до 1×2 км, *рис. 1*). В настоящее время площадь заповедника составляет 51 807,0 га. Ширина ОЗ вдоль южной и северной границ заповедника составляет 4 км, вдоль восточной и западной – от 1 до 4 км, за исключением участка восточной границы, где к его территории непосредственно примыкает памятник природы «Голубинский карстовый массив». Площадь охранной зоны составляет 31 196,4 га (Попов, Пучнина, 2012).



*Рис. 1. Границы заповедника и охранной зоны:
I – заповедник в границах 1974 г.; II – кварталы, присоединенные в 1996 г.; III – охранный зона*

Согласно лесорастительному районированию заповедник располагается в подзоне северной тайги (Курнаев, 1973). С точки зрения физико-географического районирования, его территория находится в юго-восточной части Беломорско-Кулойского плато, сложенного карстующимися гипсовыми породами палеозойского возраста, перекрытыми сверху мореной разной мощности последнего (Валдайского) оледенения (Шаврина, Малков, 2000). В связи с этим территория заповедника имеет сложное ландшафтное строение. Больше половины ее занимают карстовые ландшафты, характеризующиеся пересеченным рельефом (здесь образуются многочисленные карстовые воронки и карстовые лога), и только 36,5% площади приходится на равнинный сильно заболоченный морено-ледниковый ландшафт (Попов, 2016а). В пределах заповедника господствующими растительными формациями являются еловые и березовые леса и болота, но встречаются также сосновые и лиственничные леса (Попов, 2017).

Ландшафтные особенности территории накладывают свой отпечаток и на характер лесопользования. Так, хвойные леса карстовых ландшафтов с трудно проходимым рельефом до образования заповедника относились к категории резервных, и вырубki в 1960–70-х годах велись в основном только в равнинных участках. Кроме того, сильно пересеченный рельеф карстовых ландшафтов способствует высокому дренажу и отсутствию здесь болот, что значительно повышает горимость лесов, произрастающих в этих условиях, по сравнению с лесами заболоченного морено-ледникового ландшафта.

История лесопользования на территории заповедника была подробно изучена ранее (Мерзлый, 2000; Попов, Пучнина, 2012). Опишем здесь вкратце основные ее этапы. В XVIII–XIX вв. леса здесь оставались совершенно нетронутыми человеком (за исключением побочного лесопользования в виде сенокосения и вырубki единичных деревьев). В 1929 г., в связи с образованием Пинежского леспромхоза, начинаются выборочные рубки лиственницы вдоль р. Сотки, которые проводились до 1935 г. Поскольку вырубki продолжались сравнительно недолго, не были механизированы (трелевка производилась на лошадях) и проводились в сильно пересеченном карстовом ландшафте, в условиях которого транспорт вырубленных деревьев затруднен, они практически никак не сказались на составе лесных насаждений (Мерзлый, 2000). Следующий этап лесохозяйственной деятельности в лесах Пинежского заповедника приходится на период 1960-х гг. (Мерзлый, 2000). В этот период на территории заповедника было сделано две концентрированные вырубki (1853,5 и 262,5 га) и до 1975 г. ни в самом заповеднике, ни в охранной зоне вырубok не производилось. Начиная с 1975 г. в лесах Холмогорского и Пинежского лесхозов, примыкающих к заповеднику, а также в охранной зоне (землепользователями которой являлись эти лесхозы) проводятся периодические сплошные рубки с интенсивностью 18–328 га в год (Попов, Пучнина, 2012). Лесокультурных мероприятий на всех упомянутых вырубках (начиная с 1960-х гг.) не проводилось.

За последние 200 лет на территории заповедника было 11 значительных по площади пожаров. Наиболее крупные из них были в 1860, 1913, 1921, 1937 и 2004 гг.

Отмечены в заповеднике и ветровалы, но их площадь столь мала, что не поддается идентификации по снимкам Landsat.

Таким образом, к настоящему времени для территории заповедника скопилось достаточно информации о прошлых нарушениях, которую было решено положить на картографическую основу.

Материалы и методы

В качестве основы для выявления нарушений были использованы следующие дистанционные данные:

1. Карта вырубok и гарей Д.Н. Сабурова, составленная по архивным данным в рамках границ 1974 года (Сабуров, 1988).

2. Цифровая модель рельефа, составленная путем оцифровки горизонталей топографических карт масштаба 1 : 25 000, на основе которой созданы GRID-покрытия для 7 характеристик рельефа: абсолютная высота, экспозиция склонов, уклон поверхности, общая кривизна, плановая кривизна, профильная кривизна, освещенность рельефа с юго-востока при высоте солнца 45°. GRID-покрытия создавались с точностью 15 м в 1 пикселе.

3. Безоблачные снимки Landsat-2 MSS за 24 июля 1975 г., Landsat-5 TM за 24 августа 1986 г., 17 июня 1988 г., 18 июля 1999 г., 21 июня 2001 г., 8 августа 2007 г., 11 июля 2011 г. и Landsat 8 OLI за 19 июля 2014 г. Атмосферная коррекция снимков проведена в модуле FLAASH пакета ENVI 5.0.

В целях геометрического согласования каналов Landsat, имеющих разное пространственное разрешение (15, 30 и 60 м в 1 пикселе), цифровой модели рельефа, созданной на основе топокарт с шагом горизонталей 5 м (масштаб 1 : 25 000), решался вопрос об общем пространственном разрешении всех имеющихся дистанционных данных. Все данные были приведены к разрешению 15 м в 1 пикселе, поскольку разрешение всех использованных нами дистанционных данных кратное ему.

Методы выявления вырубок и гарей, возникших до и после 1975 года, были различны, поскольку исходные данные для создания карт имели разный формат.

Нарушения растительного покрова до 1975 года были выявлены Д.Н. Сабуровым по архивным материалам и нанесены на геоботаническую карту (Сабуров, 1988) в рамках территории заповедника 1974 года. Эти границы были нами оцифрованы вручную с коррекцией их по космоснимкам 1975–1999 гг. Для расширения площадей нарушений до современных границ заповедника был использован метод актуализации карт по космоснимкам с применением пошагового дискриминантного анализа (ПДА) (Кренке, 2011; Попов, 2016а, б). Этот метод позволяет контролировать качество классификации по итоговой таблице анализа (а не по обучающей выборке), что очень удобно в случае, когда качество обучающей выборки неопределенно. В случае старых карт совокупность пикселей по каждому классу обучающей выборки (выдела карты) может не совпадать с реальными фитохорами, которые могли быть сопоставлены на снимке с ними по их смысловому содержанию в силу условности границ на самих картах, представляющих из себя результат генерализации и технологических подходов к составлению карт прежними картографами. Дискриминантный анализ позволяет отсеять ошибочные пиксели в каждом классе (Кренке, 2011; Попов, 2016а).

ПДА проводился по критерию «лямбда Уилкса» со значением статистик F-ввода и F-исключениями 3,84 и 2,71 соответственно в программе IBM SPSS. В качестве независимых переменных использовались яркостные характеристики 7 каналов Landsat-5 TM за 17 июня 1988 г. и 21 июня 2001 г., спектральные индексы, рассчитанные по значениям каналов (по 26 индексов для каждого снимка), и 7 цифровых характеристик рельефа (Попов, 2016а). Общее количество независимых переменных составило 73. В качестве предиктора в ПДА использовалась оцифрованная карта нарушений, составленная для «старой» территории (в границах 1974 г.), в которой каждый полигон получил индексное значение

по номинальной шкале в зависимости от вида нарушения (вырубка, гарь) и его возраста. Общее качество дискриминантного анализа составило 93,7%.

Для выявления нарушений, произошедших после 1975 года, составлялись синтезированные изображения (стеки) для пар снимков 1975–1986, 1986–1988, 1988–1999, 1999–2001, 2001–2007, 2007–2011 и 2011–2014 года. Наиболее информативными для выявления изменений по разновременным снимкам являются красный, ближний и средний инфракрасные каналы Landsat (каналы 3, 4 и 5 по нумерации каналов, принятой для снимков со спутников Landsat-5 и 7) (Ялдыгина, 2011; Попов, 2013; Терехин, 2013). Существуют следующие способы комбинации каналов снимков за разные даты для выявления изменений:

1. Двухканальная комбинация 3 (*нов*) : 3 (*стар*) : 4 (*нов*), где *нов* – обозначает снимок за более позднюю дату (т.е. более новый из двух сравниваемых), *стар* – снимок за более раннюю дату. При такой комбинации возможно проанализировать изменения с примерной их относительной датировкой. Объекты, не претерпевшие изменения между датами снимков, имеют оттенки серого, измененные участки имеют любые другие цвета. Участки, лишенные растительности незадолго до даты создания более позднего снимка, выглядят красными. Участки, лишенные растительности вскоре после даты более раннего снимка, – голубые. Нарушения растительного покрова, произошедшие между датами сравниваемых снимков, окрашиваются в зеленые и желтые тона.

2. Одноканальная комбинация 5 (*нов*) : 5 (*стар*). Этот вариант используется для выявления всех нарушений растительного покрова, произошедших между датами двух сравниваемых снимков, без их относительной датировки. Все изменения при такой комбинации окрашиваются красными тонами.

Для выявления нарушений растительного покрова заповедника использовались стеки по каналам 5:5 (для выявления всех изменений, произошедших за промежуток времени между датами сравниваемых снимков) и по каналам 3:3:4 (для относительной датировки нарушений между датами сравниваемых снимков). Синтезированные изображения по каналам 5:5 классифицировались в ENVI попарно с использованием алгоритма Maximum Likelihood. Обучающая выборка для классификации стека 5:5 составлялась только для точно известных по полевым или архивным данным вырубок или гарей и не включала в себя пиксели неизменной растительности, водных объектов и т.п. (т.е. «остальные пиксели», для которых обучающая выборка не составлялась). После векторизации такого изображения класс «остальные пиксели» отбрасывался. Полигоны векторизованного слоя нарушений датировались с использованием в качестве подложки изображений с синтезом 3:3:4. Достоверность выявления нарушений описанным методом проверялась по обучающей выборке. Для разных пар снимков она составила 89,4–98,9%. Оценка достоверности производилась по всей обучающей выборке, использованной для классификации.

Полученные вышеописанными методами векторные слои нарушений объединялись. При объединении слоев пересечения слоя, относящегося к периоду до 1975 г., обрезались по слоям выявленных нарушений, относящихся к более поздней дате. Таким образом была

составлена карта нарушений растительного покрова Пинежского заповедника за последние 200 лет (рис. 2). Карта была генерализована путем элиминирования выделов площадью менее 1 га, а границы контуров сглажены.

Все операции с пространственными и статистическими данными выполнены в геоинформационных пакетах ArcGIS, ERDAS IMAGINE, IBM SPSS, ENVI, Statistica.

Результаты

Анализ карты нарушений (рис. 2) показывает, что на их долю в заповеднике приходится 34,18% площади, а в охранной зоне – 42,32%. Если говорить только о вырубках, то в заповеднике они занимают 4,08% площади, а в охранной зоне – 11,84%. Наибольшие площади были пройдены сплошными рубками в 1960-х и 2000-х годах. Как видно из табл. 1 и рис. 2, вырубки в охранной зоне не прекращаются по настоящее время. В 2012 году усилиями администрации заповедника рубки в ОЗ были приостановлены (Попов, Пучнина, 2012), однако, как показывает мониторинг снимков, они снова были возобновлены в 2013–2014 гг., правда, уже в значительно меньших объемах (табл. 1).

Таблица 1. Площади нарушений в заповедном ядре и охранной зоне, га

<i>Нарушения</i>	<i>ОЗ</i>	<i>Заповедное ядро</i>
вырубки 1960-х гг.		2116,0
вырубки 1970-х гг.	194,08	
вырубки 1980-х гг.	560,71	
вырубки 1990-х гг.	870,38	
вырубки 2000-х гг.	2022,37	
вырубки 2010-х гг.	44,9	
<i>Всего вырубок, га</i>	<i>3692,44</i>	<i>2116</i>
<i>Всего вырубок, %</i>	<i>11,84</i>	<i>4,08</i>
гарь конца 18 - начала 19 в.	33,62	698,35
гарь 1860 г.	302,45	2478,1
гарь 1900 г.	4,82	858,19
гарь 1913 г.	3052,12	3423,02
гарь 1921 г.	3210,48	3320,86
гарь 1937 г.		2420,45
гарь 1946 г.	903,2	290,21
гарь 1980 г.	1541,92	
гарь 1990 г.		9,34
гарь 1999 г.	15,29	15,68
гарь 2000 г.		48,77
гарь 2003 г.		58,95
гарь 2004 г.	446,86	1973,01
<i>Всего гарей, га</i>	<i>9510,76</i>	<i>15594,93</i>
<i>Всего гарей, %</i>	<i>30,48672</i>	<i>30,10197</i>
<i>Всего вырубок и гарей, га</i>	<i>13203,2</i>	<i>17710,93</i>
<i>Всего вырубок и гарей, %</i>	<i>42,32283</i>	<i>34,18636</i>
Общая площадь ОЗ и заповедного ядра	31196,4	51807

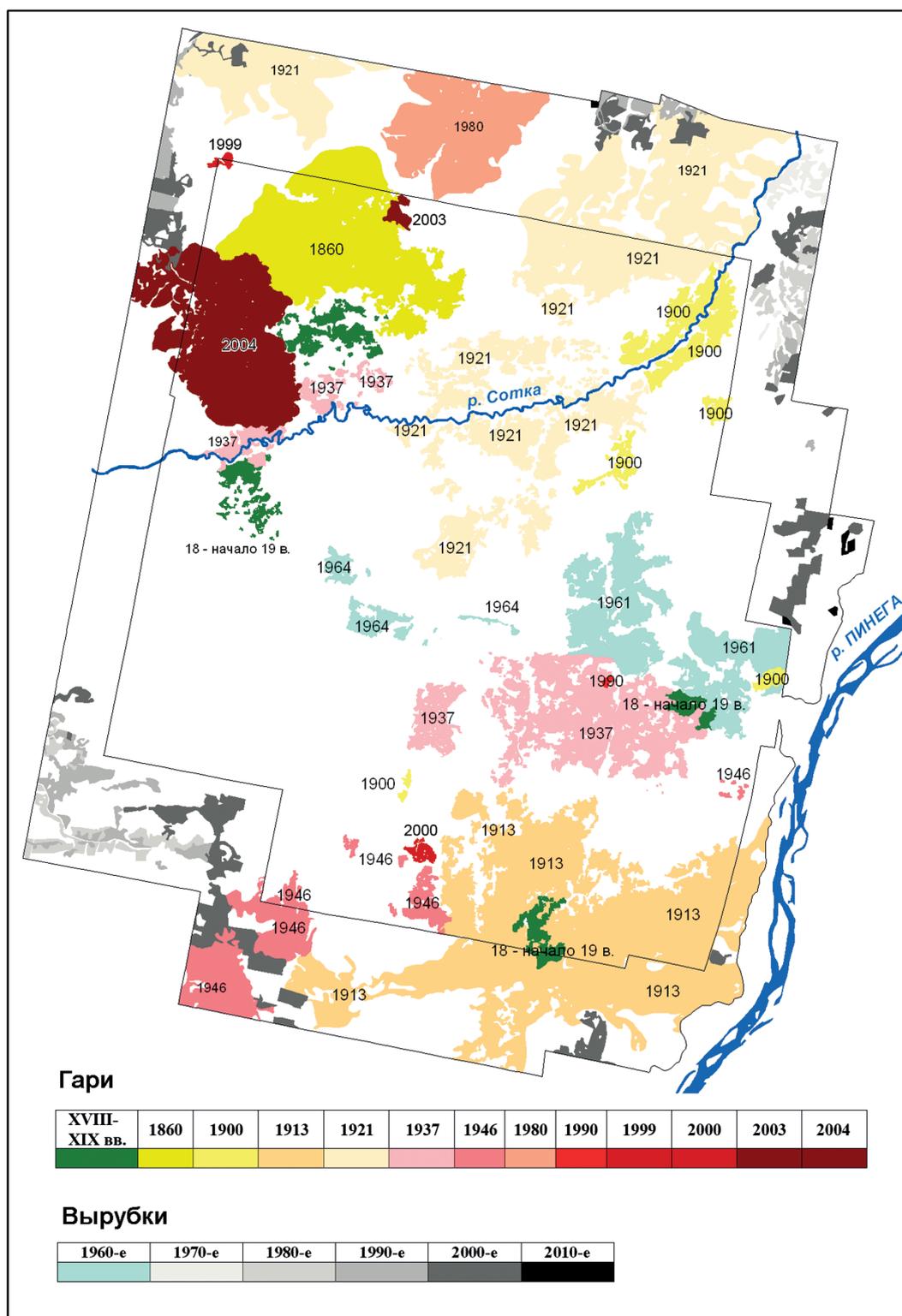


Рис. 2. Карта нарушений растительного покрова Пинежского заповедника

Наиболее крупные пожары произошли в 1860, 1913, 1921, 1937, 1980 и 2004 годах (табл. 1; рис. 2). Доля площади этих гарей примерно одинакова в заповедном ядре и охранной зоне – 30,1% и 30,48% соответственно (табл. 1). Наибольшая частота пожаров наблюдалась в XX–XXI вв. В этот период они случались чуть ли не каждое десятилетие. По данным Летописи Природы Пинежского заповедника (Летопись..., 1999–2004), боль-

шинство случаев возгораний на территории заповедника – от сухих гроз (1980–2003 гг.). Только в 2004 г. огонь перешел с охранной зоны, видимо, от незатушенного костра рабочих. Увеличение числа пожаров в конце XX – начале XXI веков, по-видимому, связано прежде всего с потеплением климата (засушливые периоды, летние грозы) (Федченко и др., 2008).

Анализ распространения гарей по ландшафтам показывает, что наименьшая их площадь приходится на сильно заболоченный ледниковый ландшафт и чуть менее заболоченный пластово-денудационный ландшафт. В ландшафтах же, где карстовые формы выражены достаточно резко, гари составляют более половины от площади самих ландшафтов. На гарях отмечены следующие растительные формации: березняки (9306,0 га), сосняки (3558,8 га), ельники (2188,1 га), лиственничники (86,4 га), осинники (449,7 га), луга (5,9 га), болота (41, 2 га) (Попов, 2017). Все вырубки зарастают исключительно березняками, как в охранной зоне, так и в заповедном ядре.

Заключение

За прошедшие 200 лет на территории Пинежского заповедника выявлены следующие виды нарушений растительного покрова: гари и вырубки, которые занимают более 1/3 площади заповедника. Большая часть площади нарушений в заповедном ядре приходится на гари, в охранной зоне – на вырубки. Информация о нарушениях, полученная по архивным данным и снимкам Landsat, легко может быть представлена в виде карты с использованием современных методов обработки данных дистанционного зондирования.

Литература

1. *Кренке А.Н.* Отображение факторов формирования компонентов ландшафта на основе тематических карт, дистанционной информации и трехмерной модели рельефа. Дис. ... канд. биол. наук. М.: ИГ РАН, 2011. 128 с.
2. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
3. *Летопись природы Пинежского заповедника. 1999–2004 гг.* Т. 23–28. Фонды ГПЗ «Пинежский».
4. *Мерзлый В.Н.* Леса Пинежского заповедника, их история и современное состояние // Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (Северная тайга ЕТР, Архангельская область). Архангельск, 2000. С. 91–97.
5. *Попов С.Ю.* Геоинформационные системы и пространственный анализ данных в науках о лесе. СПб.: ИЦ Интермедия, 2013. 400 с.
6. *Попов С. Ю.* Актуализация ландшафтной карты Пинежского заповедника методами многомерного анализа // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2016а. Т. 1. № 1. С. 11–22.
7. *Попов С.Ю.* Опыт создания геоботанической карты методом дискриминантного анализа полевых и дистанционных данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016б. Т. 13. № 1. С. 25–35.
8. *Попов С.Ю.* Геоботаническая карта Пинежского заповедника // Геоботаническое картографирование. 2017 (в печати).
9. *Попов С.Ю., Пучнина Л.В.* Инвентаризация земель Пинежского заповедника и прилегающих территорий и анализ их изменений по материалам космической съемки за период 1975–2001 гг. // Многолетняя динамика компонентов экосистем природного комплекса Пинежского заповедника и сопредельных территорий. Архангельск. 2012. С. 22–34.
10. *Сабуров Д.Н.* Геоботаническая карта Пинежского заповедника. М 1 : 25 000. 1988. Фонды ГПЗ «Пинежский».
11. *Терехин Э.А.* Применение данных спутниковой съемки для анализа многолетних изменений в лесах Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 70–80.

12. Шаврина Е.В., Малков В.Н. Геологическое строение и рельеф // Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (Северная тайга ЕТР, Архангельская область). Архангельск. 2000. С. 15–37.
13. Ялдыгина Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства // Геоматика. № 3. 2011. С. 34–39.

Disturbance map of Pinega State Reserve vegetation cover in XVIII–XXI cent.

S.Yu. Popov¹, L.V. Puchnina²

¹*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: s_yu_popov@rambler.ru*

²*Pinega State Reserve, Pinega 164610, Arkhangelsk Region, Russia
E-mail: pinzapno@mail.ru*

Pinega State Reserve is located in the Northern taiga subzone of European Russia. Forest management in this territory started at the beginning of the XX century. Several large burnings were documented in the studied area over the last 200 years. Clear-cutting of the territory now occupied by the nature reserve started in 1960s. In the buffer zone they have been continued till present days. Detection of burned areas disturbed before 1975 was performed by updating old maps based on Landsat imagery of 1988 and 2001 by means of discriminant analysis. Detection of areas disturbed after 1975 was carried out by classifying Landsat images of the synthesized image pairs for 1975–2014. A disturbance map of the reserve vegetation over the past 200 years was compiled by combining layers obtained by these two methods. Both core and buffer zones of the reserve have been considered in the present study. Till the beginning of the XXth century, the only kind of large-scale disturbance in the territory was forest fires. Results of image interpretation along with historical data enable dating individual disturbances. The obtained spatial data allow determining areas affected by disturbances in different periods and revealing tree species composition of forests emerged in these areas.

Keywords: map of disturbance, cutting, burning, Landsat, synthesized images, discriminant analysis

Accepted: 13.01.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-147-156

References

1. Krenke A.N., *Otobrazhenie faktorov formirovaniya komponentov landshafta na osnove tematicheskikh kart, distantsionnoi informatsii i trekhmernoi modeli rel'efa* (Identification of the main forming-factors of landscape components, based on the thematic maps, remote sensing data and three-dimensional digital elevation model), Cand. bio. sci. thesis, Moscow: IG RAN, 2011, 128 p.
2. Kurnaev S.F., *Lesorastitel'noe raionirovanie SSSR* (Forest growth zoning of the USSR), Moscow: Nauka, 1973, 203 p.
3. *Letopis Prirodi Pinezhskogo zapovednika* (Annals of the Pinega State Reserve) Vol. 23–28, 1999–2004, Funds of the Pinega State Reserve.
4. Merzlyi V.N., *Lesa Pinezhskogo zapovednika, ikh istoriya i sovremennoe sostoyanie* (Forest of the Pinega State Reserve, their history and current status), *Struktura i dinamika prirodnikh komponentov Pinezhskogo zapovednika (Severnaya taiga ETR, Arkhangel'skaya oblast')* (Structure and dynamics of ecosystem components of Pinega Reserve (Northern Taiga of European Russia, Arkhangelsk Region)), Arkhangel'sk, 2000, pp. 91–97.
5. Popov S.Yu., *Geoinformatsionnye sistemy i prostranstvennyi analiz dannykh v naukakh o lese* (Geographic Information Systems for use in forestry sciences), Saint-Petersburg: ITs Intermediya, 2013, 400 p.
6. Popov S.Yu., Aktualizatsiya landshaftnoi karty Pinezhskogo zapovednika metodami mnogomernogo analiza (Updated landscape map of the pinega state reserve), *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 2016a, Vol. 1, No. 1, pp. 11–22.
7. Popov S.Yu., Opyt sozdaniya geobotanicheskoy karty metodom diskriminantnogo analiza polevykh i distantsionnykh dannykh (Experience of creating a geobotanical map using discriminant analysis of field vegetation description and remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016b, Vol. 13, No. 1, pp. 25–35.
8. Popov S.Yu., Geobotanicheskaya karta Pinezhskogo zapovednika (Geobotanic map of the Pinega State Reserve), *Geobotanicheskoe kartografirovaniye*, 2017 (in print).

9. Popov S.Yu., Puchnina L.V., Inventarizatsiya zemel' Pinezhskogo zapovednika i prilegayushchikh territorii i analiz ikh izmenenii po materialam kosmicheskoi s"emki za period 1975–2001 gg (Inventory of the Pinega State Reserve and adjacent areas lands and analyze their changes based on satellite imagery for the period 1975–2001), In: *Mnogoletnyaya dinamika komponentov ekosistem prirodnogo kompleksa Pinezhskogo zapovednika i sopredel'nykh territorii* (Long-term dynamics of ecosystem components of Pinega State Reserve and adjacent territories), Arkhangel'sk, 2012, pp. 22–34.
10. Saburov D.N., *Geobotanicheskaya karta Pinezhskogo zapovednika* (Geobotanic map of the Pinega State Reserve). M 1 : 25 000, 1988, Fondy GPZ «Pinezhskiy».
11. Terekhin E.A., Primenenie dannykh sputnikovoi s"emki dlya analiza mnogoletnikh izmenenii v lesakh Belgorodskoi oblasti (Using remote sensing data for the analysis of long-term changes in the forests of the Belgorod region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 70–80.
12. Shavrina E.V., Malkov V.N., Geologicheskoe stroenie i rel'ef (Geological structure and relief), In: *Struktura i dinamika prirodnykh komponentov Pinezhskogo zapovednika (Severnaya taiga ETR, Arkhangel'skaya oblast')* (Structure and dynamics of ecosystem componets Pinega Reserve (Northern Taiga of European Russia, Arkhangelsk Province)), Arkhangel'sk, 2000, pp.15–37.
13. Yaldygina N.B., Ispol'zovanie programmno kompleksa ENVI dlya resheniya zadach lesnogo khozyaistva (Use of ENVI software system to address forestry problems), *Geomatika*, No. 3, 2011, pp. 34–39.