

Прокопьев Е.А.<sup>1</sup>, Крутских Н.В.<sup>2</sup>, Рязанцев П.А.<sup>3</sup>, Рослякова Н.А.<sup>4</sup>

## СБОР ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА ЭКОНОМИКУ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ)

### АННОТАЦИЯ

Лесные ресурсы приобретают экономическую значимость при условии их транспортной доступности для лесозаготовителей. Специфика лесозаготовок в России предполагает работу в труднодоступных районах с применением в зимнее время снежно-ледяных дорог (зимников), и Республика Карелия не является исключением. Из-за глобального потепления климата происходит сокращение сроков их использования, в этой связи оценка экономической значимости подобной сезонной транспортной инфраструктуры представляется важной и актуальной. Научная новизна поставленной задачи состоит в развитии междисциплинарного подхода по направлению влияния изменения климата на российскую экономику путем включения в него проблематики функционирования зимников.

В статье предложен подход использования данных дистанционного зондирования Земли для улучшения моделей влияния глобального потепления на объемы вывозки древесины по зимникам. Идентификация рубок с помощью обработки космических снимков предоставляет возможность перейти от построения математических моделей по пяти климатическим зонам, превышающим сотни квадратных километров, к сети регулярных значений размером  $10 \times 10$  км. Выявление мест лесозаготовок осуществлялось с помощью методов наблюдения за изменениями спектральных характеристик до и после рубки в программном комплексе ArcGis 9.3. Для определения сроков работы зимников в программном обеспечении Surfer 11 по данным двадцати двух метеостанций строились ежедневные карты погодных условий, пригодных для эксплуатации зимников. Сопоставление двух карт позволяет уточнить сроки работы зимника для каждой конкретной делянки. Подход был опробован на территории Заонежского полуострова.

Практика показала, что высокая трудоемкость обработки данных, низкое качество разрешения имеющихся в открытом доступе космических снимков за предыдущие годы в купе с высоким уровнем облачности на территории Карелии в осенне-зимний период затрудняют применение данного подхода в масштабах всего региона.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** глобальное потепление, лесозаготовки, зимники, снежно-ледяные дороги, транспортная инфраструктура.

---

<sup>1</sup> Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», пр. А. Невского, 50, 185030, Петрозаводск, Россия, *e-mail*: [e\\_prokopiev@mail.ru](mailto:e_prokopiev@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», ул. Пушкинская, 11, 185910, Петрозаводск, Россия, *e-mail*: [natkrut@gmail.com](mailto:natkrut@gmail.com)

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», ул. Пушкинская, 11, 185910, Петрозаводск, Россия, *e-mail*: [priazantsev@krc.karelia.ru](mailto:priazantsev@krc.karelia.ru)

<sup>4</sup> Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ул. Профсоюзная, д. 65, 117997, Москва, Россия, *e-mail*: [roslyakovana@gmail.com](mailto:roslyakovana@gmail.com)

**Egor A. Prokopyev<sup>1</sup>, Natalya V. Krutskih<sup>2</sup>, Pavel A. Ryazantsev<sup>3</sup>, Natalya A. Roslyakova<sup>4</sup>**

## **DATA MINING FOR MODELING THE CLIMATE INFLUENCE ON THE ECONOMY (IN THE CASE OF LOGGING IN THE REPUBLIC OF KARELIA)**

### **ABSTRACT**

The contributions of the forest income to the economy is possible if it is provided with the transport accessibility to loggers. Loggers in Russia face the challenge of working in hard-to-reach areas with the use of snow-ice roads in the winter time, and the Republic of Karelia is no exception. However, the climate change is threatening the seasonal transportation infrastructure leading to economic challenges that will only worsen as warmer temperatures further reduce winter road access. The scientific novelty of this problem is to develop an interdisciplinary approach to analyze the impact of climate change on the Russian economy by including the problem of the functioning of winter roads in it.

The paper proposes an approach for using satellite observation data (Landsat 8) Earth remote sensing data to improve the models of global warming influence on the volumes of timber removal by winter roads. Identification of felling with the help of space images processing provides an opportunity to move from the construction of mathematical models to five climatic zones exceeding hundreds of square kilometers to a gridding system (10 × 10 km). Identification of logging sites was carried out using methods to monitor changes in spectral characteristics before and after logging in the ArcGis 9.3 software package. To determine the terms of winter work in the software Surfer 11, based on the data of twenty two weather stations, daily weather maps were constructed, suitable for the operation of winter roads. Comparison of the two maps allows you to specify the duration of the winter road for each specific plot. The approach was tested on the territory of the Zaonezhsky Peninsula.

The practice has shown that the high laboriousness of data processing, the poor quality of resolution of space images available in open access for previous years, coupled with the high level of cloudiness in the territory of Karelia during the autumn-winter period make this approach difficult to apply throughout the region.

**KEYWORDS:** global warming, logging, winter roads, ice roads, transport infrastructure.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Глобальное потепление оказывает прямое или косвенное влияние на работу многих отраслей экономики по всему миру, и отечественный лесной сектор не является исключением. В контексте изменения климата в лесном секторе основное внимание исследователей обращено на учащающиеся случаи лесных пожаров, оценку их последствий и выработку эффективных способов ведения лесного хозяйства для борьбы с ними [Wimberly, Liu, 2014; Lee et al., 2015; Gaudreau et al., 2016; Davis et al., 2017]. Так же глобальное потепление вызывает опасения у исследователей в связи с распространением

---

<sup>1</sup> Institute of Economics of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, A. Nevsky pr., 50, 185030, Petrozavodsk, Russia, *e-mail:* [e\\_prokopiev@mail.ru](mailto:e_prokopiev@mail.ru)

<sup>2</sup> Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya str., 11, 185910, Petrozavodsk, Russia, *e-mail:* [natkrut@gmail.com](mailto:natkrut@gmail.com)

<sup>3</sup> Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya str., 11, 185910, Petrozavodsk, Russia, *e-mail:* [priazantsev@krc.karelia.ru](mailto:priazantsev@krc.karelia.ru)

<sup>4</sup> V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Profsoyuznaya str., 65, 117997, Moscow, Russia, *e-mail:* [roslyakovana@gmail.com](mailto:roslyakovana@gmail.com)

нием теплолюбивых лесных вредителей и болезней на лесные участки с породным составом деревьев, не обладающих выработанными защитными механизмами [Kirilenko, Sedjo, 2007]. Помимо отрицательных последствий исследователи отмечают и наличие положительных эффектов потепления климата: оно способствует росту продуктивности бореальных (таежных) лесов [Wang et al., 2013; Sohngen, Tian, 2016]. Попытка соединить вместе перечисленные эффекты для прогнозирования последствий изменения климата была предпринята в работе исследователей из университета Западной Виргинии, посвященной центральным лиственным лесам США [Ma et al., 2016]. В разработанную модель вошли факторы, отражающие характеристики породного состава и естественного прироста древесины, плотность населения, лесные пожары, температуру и осадки, в качестве зависимой переменной используется запас леса на корню. Исследователи приходят к выводу о том, что потепление климата приведет к сокращению запасов данных лесов и ухудшению породного состава, в результате этих процессов стоимость текущих запасов леса на корню сократится с 1,3 трлн до 529–599 млрд долл. (в ценах 2015 г.) в течение следующих девяноста лет [Ma et al., 2016]. Следует заметить, что вопросы заготовки древесины для лесной промышленности и хозяйственных нужд остаются за рамками данного исследования.

Однако было бы необъективным полагать, что к влиянию климата на лесной сектор можно подходить только с позиции определения будущих запасов за счет увеличения годовых приростов древесины и сокращения за счет потерь от лесных пожаров. Поскольку лесные ресурсы становятся вовлеченными в хозяйственную деятельность только при условии их транспортной доступности, дать полную оценку влияния климатических изменений на лесной сектор невозможно без включения в нее транспортной составляющей. Применительно к России здесь мы сталкиваемся с основной проблемой всего отечественного лесного сектора – с низкой обеспеченностью лесными дорогами круглогодичного пользования. Поэтому в качестве альтернатив транспортной инфраструктуры круглогодичного пользования лесозаготовители в летний период используют русла рек для плотового и молевого сплава древесины, а в зимний период – снежно-ледяные автодороги («зимники»).

Данная сезонная транспортная инфраструктура способствует снижению издержек за счет экономии на строительстве и поддержании в порядке лесовозных дорог круглогодичного пользования в труднодоступных и удаленных районах. В случае с водным сплавом обеспечивается еще и значительная экономия на топливе, превышающая потери древесины во время такой транспортировки. Логично предположить, что использование подобной временной транспортной инфраструктуры делает лесозаготовителей зависимыми от протяженности сезона, определяемого погодными условиями. Тем самым лесозаготовители становятся в большей степени чувствительными к климатическим изменениям. Заметим, что в отечественной научной литературе вопросу функционирования сезонной транспортной инфраструктуры в летний период под действием глобального потепления (увеличение сроков навигации речного транспорта [Смолина, 2009] и безледокольного плавания по Северному морскому пути [Комков и др., 2016]) уделяется значительное внимание. В Республике Карелия речная система в основном пригодна для молевого сплава, чем пользовались лесозаготовители в советские годы, однако в настоящее время данный вид сплава запрещен. И потенциальное увеличение сроков использования рек из-за глобального потепления для транспортировки древесины в силу законодательных ограничений не приведет к увеличению объемов доступной древесины и сокращению транспортных издержек.

Нельзя сказать, что проблема сокращения сроков эксплуатации зимников под действием глобального потепления ускользнула от внимания отечественных исследователей.

По прогнозам Росгидромета<sup>1</sup>, через тридцать два года ожидается сокращение территории России, на которой экономически целесообразно эксплуатировать зимники, на один млн км<sup>2</sup>. Другие немногочисленные отечественные работы по тематике «зимники в условиях изменения климата» касаются именно лесного сектора [Шегельман и др., 2007; Щёголева и др., 2008; Goltsev, Lopatin, 2013; Чугункова, 2016]. Детальной проработкой отличаются исследования по Республике Карелия и Ленинградской области, поскольку в этих регионах лесозаготовители столкнулись с климатическими аномалиями, вызванными потеплением климата. Так, в Карелии начиная с 1989 г. наблюдается устойчивое превышение нормы средней годовой температуры воздуха на 1–2 °С, которое не происходило монотонно [Назарова, 2014]: значительно повысилась температура зимних месяцев, а наибольшее потепление оказалось характерно для марта, т. е. именно в период зимнего освоения лесного фонда. В исследованиях данной проблемы на территории Карелии авторы концентрировали свое внимание на сроках функционирования разных типов зимников и рассчитывали возможные объемы заготовки древесины на определенном участке с учетом производительности конкретных видов лесозаготовительных машин [Шегельман и др., 2007; Щёголева и др., 2008]. В исследовании по Ленинградской области [Goltsev, Lopatin, 2013] применялась отличная от предыдущего исследования методика расчета сроков эксплуатации зимника, а потенциальный объем древесины, который можно вывозить только по зимникам, определялся при помощи ГИС-технологий через характеристики местности и лесов (породный состав; возраст; естественный прирост; запасы леса на корню).

Несмотря на приведенные выше исследования, можно констатировать, что вопрос оценки именно экономических потерь из-за глобального потепления применительно к работе зимников как отдельно для лесного сектора, так и для отечественной экономики в целом остается слабоизученным. В отечественной литературе не были найдены ответы на следующие взаимосвязанные вопросы: какой объем грузов перевозится по построенным зимникам и какие альтернативные издержки понесут субъекты экономической деятельности в случае отказа или сокращения их сроков использования. Перечисленные показатели оценки экономической эффективности работы зимника были заимствованы из работ канадских исследователей [Lonergan et al., 1993; Prowse et al., 2009; Mullan et al., 2017]. В одной из ранних работ по данной тематике [Lonergan et al., 1993] предлагается проводить оценку с помощью двух параметров: физического объема перевезенных грузов и их стоимости. Например, по проложенной на 85 % по озерному льду зимней дороге Тиббит – Контвойто для обслуживания алмазных рудников ежегодно перемещается товаров на сумму около 500 млн долл. [Mullan et al., 2017]. Сокращение привычных сроков эксплуатации зимников приводит к росту затрат на производство, росту стоимости товаров первой необходимости, снижению доступности услуг и увеличению социальной напряженности. Таким образом, для определения экономической значимости зимников в Карелии необходимо прежде всего решить задачу по определению вклада в грузоперевозки одного дня работы зимника, выраженного в виде физического объема вывезенной древесины.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поставленная задача предполагает построение математических моделей, где определяемой переменной является объем вывозки древесины (или объем ее заготовки), а в качестве предикторов используются количество дней работы зимника и широкий перечень показателей, отражающий состояние лесозаготовительных предприятий, объем ресурсов и характери-

<sup>1</sup> Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). Электрон. дан. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2015/od2.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 15.03.2017).

ки территории. Ключевыми данными для нашего исследования являются сведения об объемах вывозки древесины и климатические показатели (среднесуточная температура и высота снежного покрова). Источником первых стали публикации в газете «Лесная Карелия»<sup>1</sup> данных по ежемесячному объему вывозки древесины<sup>2</sup> по наиболее значимым предприятиям отрасли, география которых охватывает практически все муниципальные районы Карелии. Сравнение полученных данных с официальной статистикой показало, что в публикуемом массиве показателей работы лесозаготовительных предприятий отражено не менее двух третей промышленного объема вывозки древесины в Карелии. Климатические показатели были получены из общедоступной базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации<sup>3</sup>; в открытом доступе представлена информация по семи карельским метеостанциям. Остальные данные были собраны с помощью специализированных статистических сборников по лесному сектору и муниципальным районам республики.

Для определения количества дней эксплуатации зимников были взяты технические параметры, предложенные в работах исследователей из ПетрГУ [Щёголева и др., 2008]: для начала строительства зимника необходимы высота снежного покрова не менее 10 см и накопленная сумма отрицательных температур после перехода через 0 °С от –100 до –130 °С; окончание вывозки различается от типа используемого зимника (для снежно-ледяных – от –2,7 до –1,8 °С, для ледяных – от +1 до +2 °С). После определения даты начала эксплуатации зимника и даты его разрушения для каждого месяца на полученном временном отрезке подсчитывается количество дней работы зимника. В качестве дней эксплуатации зимника не учитываются дни со среднесуточной температурой ниже –30 °С (практика показывает, что в сильные морозы лесозаготовители не работают), Новый год и дни оттепелей (предполагается, что в этот короткий промежуток времени зимник не исчезает, но перестает использоваться).

Для проверки гипотезы о наличии зависимости между объемами вывозки древесины и количеством дней работы зимников были построены модели по Республике Карелия в целом [Прокопьев и др., 2017]. В результате было выявлено, что один день работы зимника в Карелии прибавляет к месячной вывозке от 7,89 до 9,86 тыс. м<sup>3</sup>. Следующим этапом исследования стали расчеты по климатическим зонам Республики Карелия. Для этого использовались модели панельных данных с фиксированными эффектами. Наша первоначальная гипотеза предполагала деление Карелии на четыре климатические зоны (северную, среднюю, юго-западную и юго-восточную с центрами в Калевале, Паданах, Петрозаводске и Сортавале, соответственно), для которых были доступны отечественные метеоданные. Кроме того, эти зоны были сформированы по административным границам муниципальных районов, поскольку большинство располагаемых данных привязано именно к административным границам. Но построенные по четырем зонам модели показали плохие статистические характеристики. Представленное в Атласе Карельской АССР климатическое деление показало необходимость выделения отдельной климатической зоны вдоль Ладожского озера. Поэтому помимо отечественных метеоданных были использованы данные Финского метеорологического института<sup>4</sup>. Полученные в результате такого деления модели продемонстрировали хорошие статистические характеристики и позволили перейти к анализу неучтенных факторов с помощью методов непараметрической статистики.

<sup>1</sup> Отраслевое издание Союза лесопромышленников и лесозэкспортеров Республики Карелия.

<sup>2</sup> С 2010 г. по настоящее время публикуются данные об объемах заготовки древесины.

<sup>3</sup> Автоматизированная информационная система обработки режимной информации [Электронный ресурс] / ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 15.03.2017).

<sup>4</sup> Open data sets [Электронный ресурс] / Finnish Meteorological Institute. URL: <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data-sets-available>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: 15.03.2017).

Следует признать, что используемое деление по климатическим зонам хотя и позволило решить поставленные задачи, всё же неидеально. И было бы ошибкой пренебрегать возможностью улучшить полученные модели за счет более точного позиционирования мест рубок и определения даты работы зимника для конкретной делянки. Основной сложностью при построении моделей по климатическим зонам было определение объемов вывозки древесины по отдельно взятому предприятию в каждой конкретной зоне. До 2004 г. распределение предприятий по выбранным климатическим зонам осуществлялось по названию, которое в себе содержало наименование населенного пункта (Кондопожское ЛПХ, Пудожпромлес). После 2004 г. в лесном секторе Карелии начинается активный процесс вхождения местных предприятий в холдинговые структуры, в результате которого данные по вывозке древесины начинают предоставляться только по всей организации в целом. Кроме того, появляются новые компании, из названия и места регистрации которых непонятно, где они ведут заготовки. С 2011 г. в Карелии публикуются карты арендаторов лесного фонда, на которых указаны площади лесов всех лесозаготовительных компаний. Принимая во внимание особенности российского законодательства (леса предоставляются в долгосрочную аренду сроком до сорока девяти лет), было сделано предположение, что основные лесозаготовительные предприятия за 2004–2009 гг. осуществляли заготовку древесины в рамках границ, представленных на карте 2011 г. Однако для будущих исследований видятся дополнительные возможности улучшения качества данных.

Сопоставление карт арендаторов лесного фонда с космическими снимками дает возможность точно определить территории, на которых происходила вырубка древесины, что позволяет уточнить данные об окружающей территории (заболоченности, преобладающих почвах, густоте дорожной сети), подключая дополнительно соответствующие карты. И самое главное – привязать публикуемые объемы заготовки к конкретной территории. А для каждой из этих территорий можно определить сроки функционирования зимника с помощью построения карт распространения погодных условий, пригодных для начала эксплуатации зимника и его разрушения. Подобные карты можно построить на каждый день зимнего освоения лесного фонда на основе данных с приграничных финских метеостанций (восемь станций), а также отечественных станций (четырнадцать станций), расположенных как на территории Карелии, так и вокруг нее (рис. 1).

Для создания регулярной сети значений размером  $10 \times 10$  км использовалась интерполяция методом кригинга (регрессия на основе гауссовских процессов) в программном обеспечении Surfer 11. Применение такого подхода позволяет предсказать промежуточные значения температуры и мощности снежного покрова для всей площади республики и привязать их к единой системе координат с другими геоданными.

Подчеркнем, что для самого обнаружения лесных рубок существуют различные методики. Так, в работе [Никитина Ю., Никитин В., 2010] предлагается методика автоматизированного дешифрирования вырубок по разновременным космическим снимкам, где для повышения качества выявления изменений лесных территорий по многозональным снимкам предлагается использование первого канала изображения, полученного методом главных. Данный метод предполагает выделение изменений на односезонных снимках. Для мониторинга лесных рубок также используют методы на основе кривых отражательной способности лесных насаждений и кустарников [Казарян, Шахраманьян, 2015]. Метод автоматизированного мониторинга рубок на основе синтеза разновременных изображений описан для программного комплекса ENVI [Ялдыгина, 2011]. На синтезированном изображении измененные участки отображаются яркими цветами. В связи с необходимостью решения задачи по выявлению рубок за зимний сезон использовались методы наблюдения за изменениями спектральных характеристик до и после рубки.

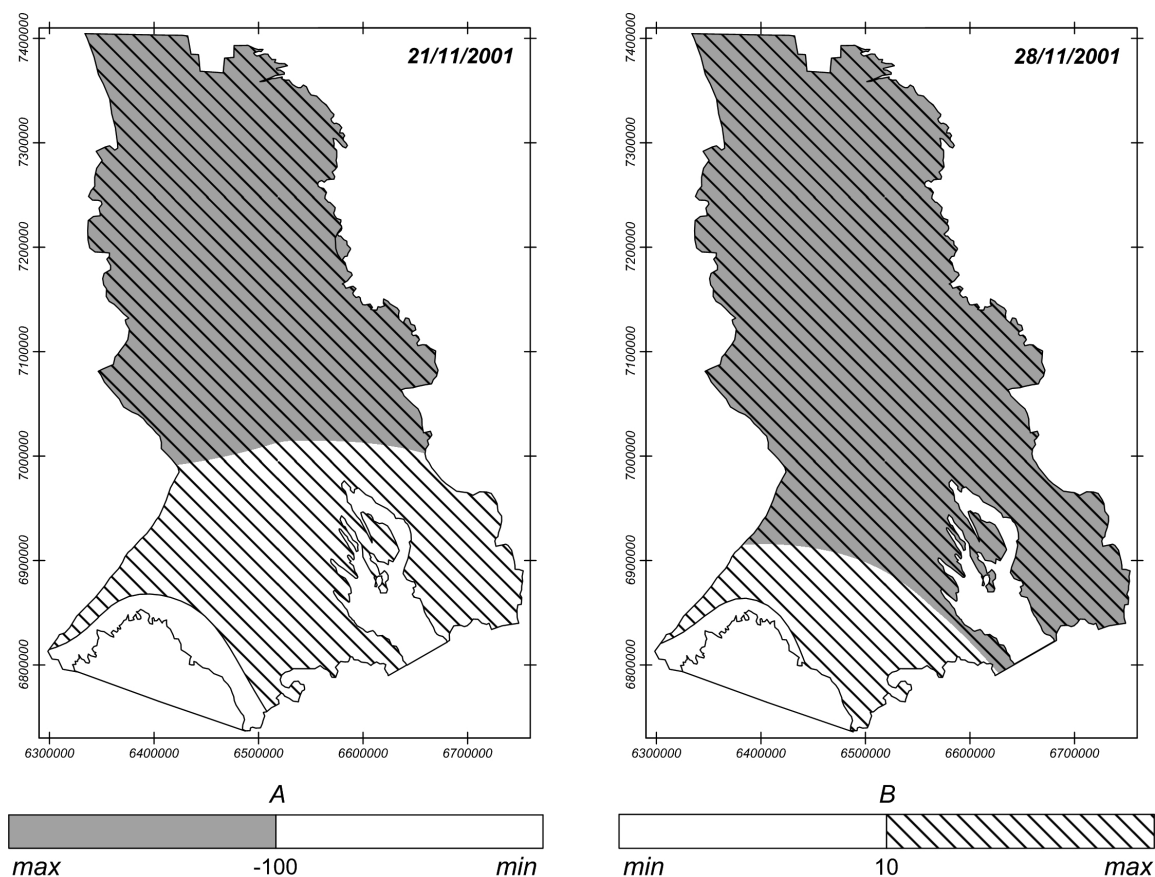


Рис. 1. Пространственное распространение условий, пригодных для начала эксплуатации зимника:

А – сумма накопленных отрицательных температур (°С), В – высота снежного покрова (см)  
Fig. 1. Spatial enlargement of suitable conditions for the winter road construction:  
А – accumulated amount of negative temperatures (°С), В – height of snow cover (cm)

Территория для проведения экспериментальных расчетов была выбрана исходя из положений о достаточном количестве рубок арендатором. В этом качестве рассматриваются лесные площади на Заонежском полуострове, арендуемые ООО «Северзаготовка». Арендатор использует три компактно расположенных участка суммарной площадью около 400 км<sup>2</sup>.

На первом этапе выявления рубок подобраны космоснимки Landsat 8 с низкой облачностью. В связи с метеорологическими условиями и климатом Карелии, определяющими высокий уровень облачности в осенне-зимний период, начальная дата расчетов приходится на конец августа, так как наиболее подходящим является снимок от 19.08.2015 г. По снимку Landsat 8 от 24 мая 2016 г. фиксируются изменения, произошедшие за этот период. Для уменьшения влияния атмосферы проводится радиометрическая калибровка каналов рассматриваемых снимков. Геометрическая коррекция снимков не проводилась, снимки взяты из коллекции Level-1, где георегистрация согласована в пределах установленных допусков. Все операции и обработка со снимков проведены в программном комплексе ArcGis 9.3.

Для выявления рубок используется алгоритм деления значений яркости каждого пикселя панхроматического канала одного снимка на другой. Использование панхроматического канала оправданно в связи с высоким пространственным разрешением. Тер-

ритории, где яркость в панхроматическом канале позднего снимка увеличилась более чем в 1,8 раза, классифицируются как свежие вырубки. Далее выполняются векторизация выявленных областей и сохранение в shp-файлы. На следующем этапе проводится визуальная проверка полученных изменений по причине возможного попадания облаков в подобные области. Данный подход правомерен в связи с использованием снимков, сделанных в вегетационный период, хотя и не в один сезон. При использовании разносезонных снимков возможно проведение контролируемой классификации с выявлением рубок и последующее наложение и визуальное сравнение двух изображений.

Для определения мест вырубок, которые доступны только при использовании зимников, необходимо отразить существующую дорожную сеть и болота. Предположительно для таких участков характерны удаленность от существующей транспортной инфраструктуры и окружение болотами. Для определения заболоченных территорий использовались индексные отношения. Так, различные спектральные индексы позволяют более достоверно интерпретировать информацию со снимков. Проведение контролируемой классификации с выделением болотных массивов не дало полной информации в связи с отсутствием заверенных полевых данных. Наиболее конкретно трассирует заболоченные территории коэффициент оксида железа, представляющий собой отношение яркости в красном и синем каналах мультиспектрального снимка [Segal, 1982]. В кислых глеевых водах в условиях восстановительной обстановки железо и марганец находятся в виде катионов  $Fe^{+2}$  и  $Mn^{+}$ . При смене обстановки на окислительную, т. е. при выходе на поверхность, катионы железа и марганца окисляются с образованием нерастворимых в воде гидроксидов, что и фиксируется повышенными значениями спектрального индекса (Red/Blue). Таким образом, высокие значения данного индекса можно использовать при выявлении заболоченных участков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате была получена карта заготовки леса на территории Заонежского полуострова с августа 2015 г. по май 2016 г. (рис. 2). Обращает на себя внимание следующая естественная закономерность: большинство выявленных рубок находятся в непосредственной близости от действующей круглогодично дорожной инфраструктуры. Только для лесозаготовок на северо-востоке полуострова, выделенных пунктиром, могли быть задействованы зимники.

Полученные данные позволяют улучшить сроки определения возможной эксплуатации зимников и параметры данных, используемых в моделях непараметрической статистики по уровню транспортной доступности с учетом заболоченности территорий. Вместе с тем возникают проблемы, относящиеся к привязке объемов заготовки древесины к выявленным местам рубок. В первую очередь это связано с высоким уровнем облачности на территории Республики Карелия, которая напрямую влияет на частоту получения качественных снимков. В идеальных условиях для задач исследования желательно иметь качественные снимки с интервалом съемки месяц. Используемый в пилотном обследовании интервал с августа по май, помимо стандартного зимнего сезона декабрь – март, захватывает еще пять месяцев. По данным газеты «Лесная Карелия» известно, что в апреле и мае 2016 г. ООО «Северзаготовка» не проводило рубок, вместе с тем в заданном интервале остаются еще три месяца летнего сезона. Вытекающей отсюда проблемой является сложность получения серии равноинтервальных по времени снимков за последние десять лет. Так, качество космоснимков, охватывающих период нашего исследования (1999–2009 гг.), не позволяет добиться поставленных результатов. Кроме того, используемый метод является достаточно трудоемким и пока слабо



поддается машинной обработке. Поскольку наименьшая из задействованных в наших моделях климатических зон занимает площадь более 6,5 тыс. км<sup>2</sup>, данный подход пока малоприменим в рамках исследования всего региона. Вместе с тем для локальной территории (муниципальный район или один арендатор) по полученным данным можно будет строить улучшенные модели, учитывающие промерзание почвы и несущие качества существующей дорожной сети.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, описанный подход применения космоснимков Landsat 8 в качестве открытого источника данных в дополнение к официальной статистике и отчетности лесозаготовительных предприятий позволяет уточнить параметры моделей, определяющих экономическую значимость работы зимников в условиях глобального потепления климата. Однако высокая трудоемкость обработки данных, низкое качество разрешения снимков за предыдущие годы вкупе с высоким уровнем облачности на территории Карелии затрудняют применение данного подхода в масштабах всего региона. Вместе с тем существующие темпы развития технологий позволяют надеяться, что подход, предложенный для исследования экономической значимости сезонной транспортной инфраструктуры в лесном секторе, станет реализуемым в ближайшем будущем.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование осуществлено при финансовой поддержке РФФИ (ОГОН) по проекту № 17-32-01031 а2.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, No 17-32-01031 а2.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казарян М.Л., Шахраманьян М.А. Мониторинг лесных массивов с помощью космических снимков. Контроль вырубок леса // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. Электронный ресурс: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18568> (дата обращения: 19.03.2018).
2. Комков Н.И., Селин В.С., Цукерман В.А., Горячевская Е.С. Сценарный прогноз развития северного морского пути // Проблемы прогнозирования. 2016. № 2. С. 87–98.
3. Назарова Л.Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Известия Русского географического общества. 2014. Т. 146. № 4. С. 27–33.
4. Никитина Ю.В., Никитин В.Н. Разработка методики автоматизированного дешифрирования незаконных рубок леса по разновременным космическим снимкам // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2010. Т. 3. № 2. С. 175–180.
5. Прокопьев Е.А., Рослякова Н.А., Рязанцев П.А. Влияние климата на объемы вывозки древесины в Республике Карелия // Друкеровский вестник. 2017. № 5. С. 173–185.
6. Смолина С.Г. Оценка перспектив развития речного транспорта России на основе прогноза изменений стока и морфодинамики гидросети вследствие глобального потепления климата // Труды Института системного анализа РАН. 2009. Т. 42. С. 220–237.
7. ЧуGUNкова А.В. Исследование влияния глобального изменения климата на потенциальную продолжительность лесозаготовительного сезона // Исследования молодых ученых: экономическая теория, социология, отраслевая и региональная экономика. 2016. С. 297–301.

8. Шегельман И.Р., Щеголева Л.В., Лукашевич В.М. Обоснование периода эксплуатации зимних лесовозных дорог // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 2. С. 54–57.
9. Щёголева Л.В., Кочанов А.Н., Лукашевич В.М., Щукин П.О. Оценка транспортного освоения лесных ресурсов с учетом сезонности: методические указания. Петрозаводск: Из-во ПетрГУ, 2008. 40 с.
10. Ялдыгина Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства // Геоматика. 2011. № 3. С. 34–39.
11. Davis R., Yang Z., Yost A., Belongie C., Cohen W. The normal fire environment – Modeling environmental suitability for large forest wildfires using past, present, and future climate normals // Forest Ecology and Management. 2017. V. 390. P. 173–186.
12. Gaudreau J., Perez L., Drapeau P. BorealFireSim: A GIS-based cellular automata model of wildfires for the boreal forest of Quebec in a climate change paradigm // Ecological Informatics. 2016. V. 32. P. 12–27.
13. Goltsev V., Lopatin E. The impact of climate change on the technical accessibility of forests in the Tikhvin District of the Leningrad Region of Russia // International Journal of Forest Engineering. 2013. 24:2. P. 148–160.
14. Kirilenko A.P., Sedjo R.A. Climate change impacts on forestry // PNAS. 2007. V. 104. No 50. P. 19697–19702.
15. Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R. The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires // Ecological Economics. 2015. V. 116. P. 261–269.
16. Lonergan S., Di Francesco R., Woo M. Climate Change and Transportation in Northern Canada: An Integrated Impact Assessment // Climatic Change 1993. V. 24. P. 331–351.
17. Ma W., Liang J., Cumming J.R., Lee E., Welsh A.B., Watson J.V., Zhou M. Fundamental shifts of central hardwood forests under climate change // Ecological Modelling. 2016. V. 332. P. 28–41. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.021.
18. Mullan D., Swindles G., Patteson T., Galloway J., Macumber A., Falck H., Chen J., Pisaric M. Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road. Theoretical and Applied Climatology. 2017. V. 129. No 3–4. P. 1089–1108.
19. Prowse T.D., Furgal C., Chouinard R., Melling H., Milburn D., Smith S.L. Implications of Climate Change for Economic Development in Northern Canada: Energy, Resource, and Transportation Sectors // AMBIO: A Journal of the Human Environment. 2009. V. 38. No 5. P. 272–281.
20. Segal D. Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data // Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology, Fort Worth, TX. 1982. P. 949–951.
21. Sohngen B., Tian X. Global climate change impacts on forests and markets // Forest Policy and Economics. 2016. V. 72. P. 18–26. DOI: 10.1016/j.forpol.2016.06.011.
22. Wang X.-Y., Zhao C.-Y., Jia Q.-Y. Impacts of Climate Change on Forest Ecosystems in Northeast China // Advances in Climate Change Research. 2013. V. 4, No 4. P. 230–241. DOI: 10.3724/SP.J.1248.2013.230.
23. Wimberly M.C., Liu Z. Interactions of climate, fire, and management in future forests of the Pacific Northwest // Forest Ecology and Management. 2014. V. 327. P. 270–279. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.09.043.

## REFERENCES

1. Chugunkova A.V. Investigation of global climate change effect on feasible duration of winter-felling season. Issledovanija molodyh uchjonyh: jekonomicheskaja teorija, sociologija, otraslevaja i regional'naja jekonomika. 2016. P. 297–301 (in Russian).

2. *Davis R., Yang Z., Yost A., Belongie C., Cohen W.* The normal fire environment – Modeling environmental suitability for large forest wildfires using past, present, and future climate normals. *Forest Ecology and Management*. 2017. V. 390. P. 173–186.
3. *Gaudreau J., Perez L., Drapeau P.* BorealFireSim: A GIS-based cellular automata model of wildfires for the boreal forest of Quebec in a climate change paradigm. *Ecological Informatics*. 2016. V. 32. P. 12–27.
4. *Goltsev V., Lopatin E.* The impact of climate change on the technical accessibility of forests in the Tikhvin District of the Leningrad Region of Russia. *International Journal of Forest Engineering*. 2013. 24:2. P. 148–160.
5. *Jaldygina N.B.* Software ENVI for forest monitoring. *Geomatika*. 2011. No 3. P. 34–39 (in Russian).
6. *Kazarjan M.L., Shahraman'jan M.A.* Forest monitoring by means satellite imagery – control deforestation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2015. No 1-1. web resource: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18568>, accessed 19.03.2018 (in Russian).
7. *Kirilenko A.P., Sedjo R.A.* Climate change impacts on forestry. *PNAS*. 2007. V. 104. No 50. P. 19697–19702.
8. *Komkov N.I., Selin V.S., Cukerman V.A., Gorjachevskaja E.S.* Scenario forecast of the development of the Northern Sea Route. *Problemy prognozirovaniya*. 2016. No 2. P. 87–98 (in Russian).
9. *Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R.* The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires. *Ecological Economics*. 2015. V. 116. P. 261–269.
10. *Loneragan S., Di Francesco R., Woo M.* Climate Change and Transportation in Northern Canada: An Integrated Impact Assessment. *Climatic Change* 1993. V. 24. P. 331–351.
11. *Ma W., Liang J., Cumming J.R., Lee E., Welsh A.B., Watson J.V., Zhou M.* Fundamental shifts of central hardwood forests under climate change. *Ecological Modelling*. 2016. V. 332. P. 28–41. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.021.
12. *Mullan D., Swindles G., Patteson T., Galloway J., Macumber A., Falck H., Chen J., Pisaric M.* Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road. *Theoretical and Applied Climatology*. 2017. V. 129. No 3–4. P. 1089–1108.
13. *Nazarova L.E.* Variability of average long-term values of air temperature in Karelia. *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2014. V. 146. No 4. P. 27–33 (in Russian).
14. *Nikitina Ju.V., Nikitin V.N.* Development of the techniques for computerized interpretation of illegal deforestation satellite images taken at different times. *Interjekspo Geo-Sibir'*. 2010. V. 3. No 2. P. 175–180 (in Russian).
15. *Prokop'ev E.A., Rosljakova N.A., Rjazancev P.A.* Climate impact on the logging volume in the Republic of Karelia. *Drukerovskij vestnik*. 2017. No 5. P. 173–185 (in Russian).
16. *Prowse T.D., Furgal C., Chouinard R., Melling H., Milburn D., Smith S.L.* Implications of Climate Change for Economic Development in Northern Canada: Energy, Resource, and Transportation Sectors. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2009. V. 38. No 5. P. 272–281.
17. *Segal D.* Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data. *Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology, Fort Worth, TX, 1982*. P. 949–951.
18. *Shegel'man I.R., Shhegoleva L.V., Lukashevich V.M.* Substantiation of Forest Roads Operating Period. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2007. No 2. P. 54–57 (in Russian).

19. *Shhegoleva L.V., Kochanov A.N., Lukashevich V.M., Shhukin P.O.* Assessment of transport development of forest resources taking into account seasonality: guidelines. Petrozavodsk: Izdatel'stvo PetrGU, 2008. 40 p. (in Russian).
20. *Smolina S.G.* Estimation of the prospects for the development of river transport in Russia on the basis of forecasting changes in runoff and hydrodynamics of the hydroset due to global warming. Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk. 2009. V. 42. P. 220–237 (in Russian).
21. *Sohngen B., Tian X.* Global climate change impacts on forests and markets. Forest Policy and Economics. 2016. V. 72. P. 18–26. DOI: 10.1016/j.forpol.2016.06.011.
22. *Wang X.-Y., Zhao C.-Y., Jia Q.-Y.* Impacts of Climate Change on Forest Ecosystems in Northeast China // Advances in Climate Change Research. 2013. V. 4, No 4. P. 230–241. DOI: 10.3724/SP.J.1248.2013.230.
23. *Wimberly M.C., Liu Z.* Interactions of climate, fire, and management in future forests of the Pacific Northwest. Forest Ecology and Management. 2014. V. 327. P. 270–279. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.09.043.