

Разработка методики картографирования экосистемных услуг лесов на региональном уровне

Специальность: 06.03.02 Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Области исследований: Дистанционные методы изучения лесной растительности, теория и практика наземных и аэрофотометодов, а также другие современные методы съемок



Аспирант 1 г. о., Нарыкова А.Н.
Научный руководитель
с. н. с., к. т. н. Плотникова А.С.

8 ноября 2021

Актуальность

1. Выгоды, которые люди получают от экосистем, как правило, не оценены должным образом, что вызывает неравномерное потребление экосистемных услуг и деградацию природных экосистем. Лесные ландшафты в основном воспринимаются только как источник древесины и топлива. В меньшей мере учитываются другие важные функции леса, такие как регулирование круговорота воды, цикла углерода и, соответственно, климата, естественное почвообразование, фотосинтез и др.
2. В настоящее время картографирование экосистемных услуг слабо развито и является относительно новым научным направлением в России, что подтверждается небольшим количеством работ и слабо разработанной методикой. Современные возможности спутниковых данных, такие как пространственный охват, высокая детальность и доступность, делают их наиболее удобным и объективным источником регулярно обновляемой информации для картографирования экосистемных услуг лесов на региональном уровне.
3. В настоящее время получили развитие высокопроизводительные облачные платформы (например, Google Earth Engine), объединяющие архивы разнородной спутниковой, почвенно-климатической, топографической и другой информации, а также инструменты и методы машинного обучения для их анализа. В частности, указанные возможности могут быть использованы для моделирования основных биометрических показателей лесов (запас древостоев, породно-возрастная структура и продуктивность лесных насаждений).
4. Перспективным направлением является интеграция данных дистанционного зондирования, тематических геоинформационных продуктов и наземных измерений качественных и количественных характеристик лесов для оценки и моделирования экосистемных услуг.

Цель:

разработка методики картографирования экосистемных услуг лесов на региональном уровне с помощью методов машинного обучения на основе данных дистанционного зондирования Земли, тематических геоинформационных продуктов и наземных измерений.

Задачи:

- 1) на основе литературных источников изучить существующие методы картографирования экосистемных услуг на различных пространственных уровнях;
- 2) оценить возможности высокопроизводительной облачной платформы Google Earth Engine (GEE) для моделирования экосистемных услуг лесов в региональном масштабе (Республика Карелия);
- 3) выполнить анализ тематических геоинформационных продуктов (предикторов) для построения регрессионных моделей экосистемных услуг лесов и установить наиболее информативные;
- 4) построить регрессионные модели для отдельных экосистемных услуг лесов и оценить их точность;
- 5) представить результаты моделирования экосистемных услуг лесов в виде цифровых карт и базы пространственных данных

Научная новизна ожидаемых результатов

1. Методика картографирования экосистемных услуг лесов на региональном уровне, соответствующая современному уровню развития науки, основанная на комплексном использовании высокодетальных мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли из космоса, наземных измерений и тематических геоинформационных продуктов.
2. Модели оценки и прогнозирования экосистемных услуг лесов Республики Карелия, полученные на основе комплексного использования наземных и спутниковых данных и методов машинного обучения.
3. Цифровые карты экосистемных услуг лесов Республики Карелия и база пространственных данных, созданные посредством применения разработанной методики.

Экосистемные услуги лесов (ЛЭУ)

Экосистемные услуги – это выгоды, которые люди получают от экосистем (МЕА, 2005)

Экосистемные услуги лесов – это выгоды, которые люди получают от лесных экосистем

В настоящее время имеется три международные классификации экосистемных услуг:

- классификация в докладе **«Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (The Millennium Ecosystem Assessment)** (2005), использованная для глобальной и субглобальной оценки экосистемных услуг;
- классификация международного проекта **«Экономика экосистем и биоразнообразие (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) – ТЕЕВ»** (2010), которая используется странами, участниками этого проекта для оценки экосистемных услуг на национальном уровне;
- классификация **Европейского агентства по охране окружающей среды – CICES (Common International Classification of Ecosystem Services)**, основанная на двух вышеуказанных классификациях, но в большей степени нацеленная на экономическую оценку и учет экосистем на национальном, региональном и локальном уровнях.

Экосистемные услуги по классификации проекта «Оценка экосистем на пороге тысячелетия».

Основные категории экосистемных услуг, основанных на видах пользы, которую они дают человеку:

- Обеспечивающие (provisioning)
- Регулирующие (regulating)
- Культурные (cultural)
- Поддерживающие услуги (supporting)



Экосистемные услуги лесов

PROVISIONING	REGULATING	CULTURAL	SUPPORTING
Обеспечивающие	Регулирующие	Культурные	Поддерживающие
Обеспечение людей материальными благами и ресурсами, которые ими непосредственно используются	Различные механизмы регулирования экосистемами показателей окружающей среды, непосредственно значимых для благополучия человека	Нематериальное обеспечение культурных, духовных и научных потребностей людей	Услуги, необходимые для производства всех других экосистемных услуг.
Продукция древесины (топливо, строительная древесина)	Регуляция потоков парниковых газов между поверхностью земли и атмосферой	Рекреация (место для отдыха, развитие курортов)	Защита почв от водной эрозии (Защита почвы от смыва и размыва талыми и дождевыми водами)
Недревесная продукция лесных экосистем (пищевые грибы, ягоды и лекарственные растения)	Хранение запасов углерода, накопленных природными экосистемами (Углекислый газ из атмосферы поглощается и связывается лесом, таким образом в органике растений, их остатке и почве накапливается углерод. Обратно лес выделяет необходимый для дыхания всех живых существ кислород)	Охрана здоровья населения (Влияние на эмоциональное и психофизиологическое состояние человека)	Защита почв от дефляции (ветровой эрозии почв) (процесс, при котором мельчайшие почвенные частицы выдуваются и переносятся ветром)
	Регулирование климата (защита от резких смен климатический условий)		Фотосинтез (Фотосинтез продуцирует кислород, необходимый многим живым организмам)
	Влияние на гидрологический режим – поддержание оптимального гидрологического режима (регулируя круговорот воды в природе)		Круговорот воды (Вода циркулирует по экосистемам и является жизненно необходимой для живых организмов)
	Глобальное распределение осадков (влаги, испаряемая деревьями, возвращается в атмосферу и далее по круговороту переносится вглубь континентов от океанов и морей)		Полезная и почвозащитная функции (лесополосы)
			Опыление (Обеспечение репродукции растительных сообществ)



Объект исследования

Республика Карелия (РК) и Карельский перешеек

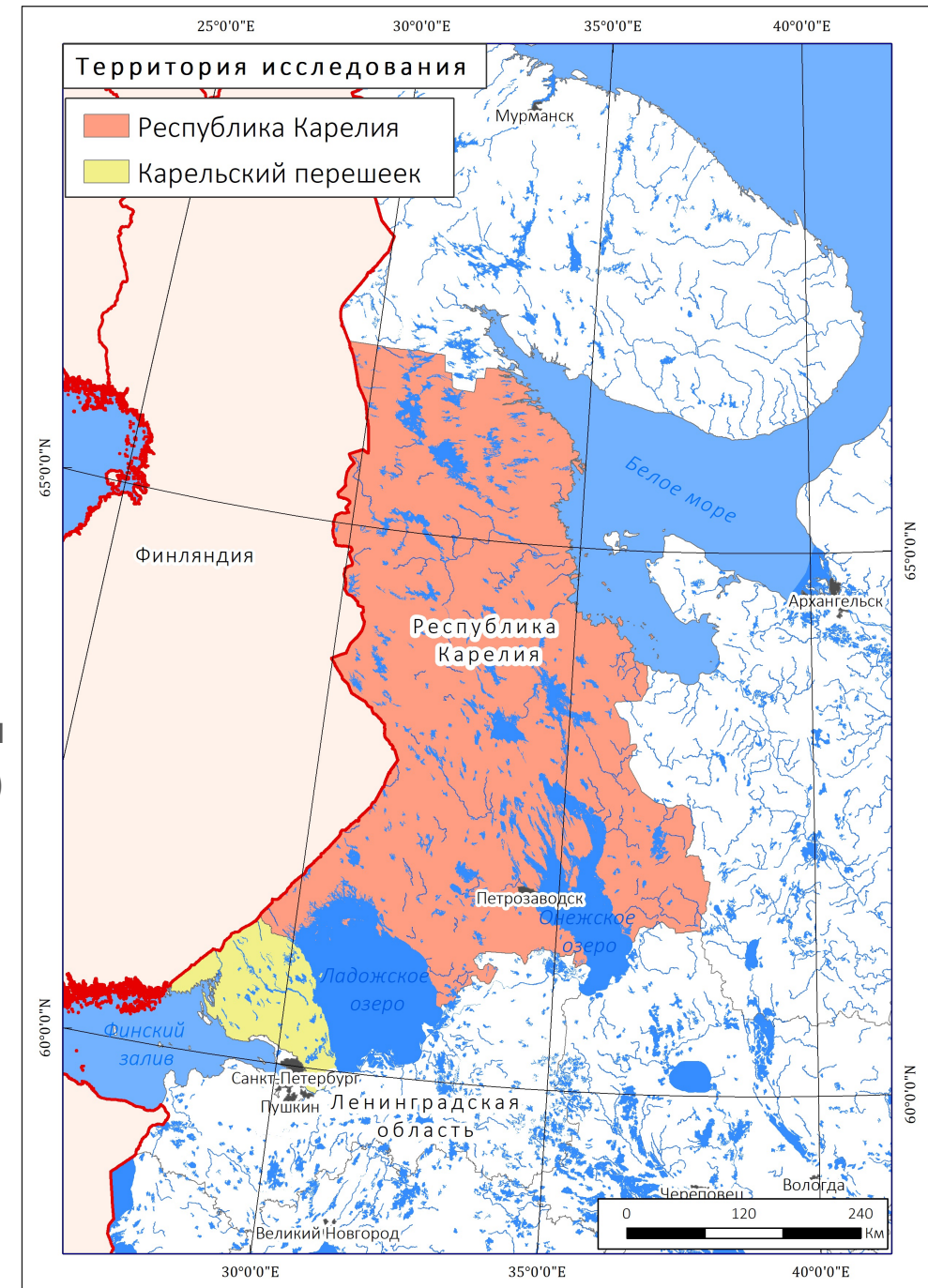
Лесистость территории – 53,1 % (21 место по РФ)

Общий запас древесины – 1025,3 млн. м³ (по данным Росстат, 2019).

РК располагается на территории северной и средней тайги. В северной тайге господствуют сосновые леса (72%), в средней – сосновые и еловые (39 и 37%), возрастает доля березовых (24%) (Лукина, Орлова, 2019).

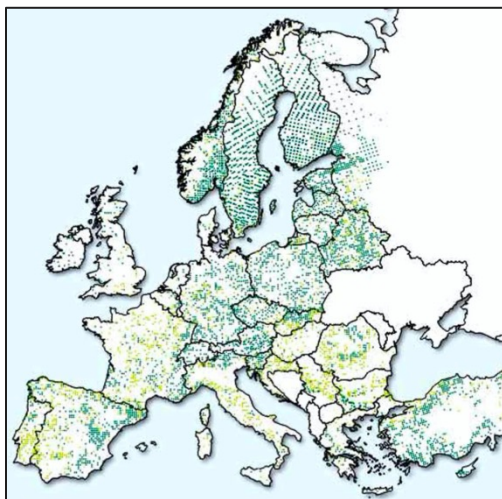
Основными лесообразующими породами в Карелии является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель европейская (*Picea abies* (L.) N. Karst.), ель сибирская (*Picea obovate* Ledeb.), гибрид ели европейской и ели сибирской – ель финская (*Picea x fennica* (Regel) Kom.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench), ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) (Волков, 2008).

Карельский перешеек - растительность ландшафтов представлена бореальными южнотаежными лесами. На Карельском перешейке преобладают сосновые леса (51%), в меньшей степени распространены ельники (29%) и березняки (16%) (Доронина, 2007).



Исходные данные

1) ICP-Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) – международная программы по оценке и мониторингу влияния загрязнения воздуха на леса (<http://icp-forests.net/>)



ППН ICP-Forests на территории Европы (Бахмет, Федоренко, 2011)

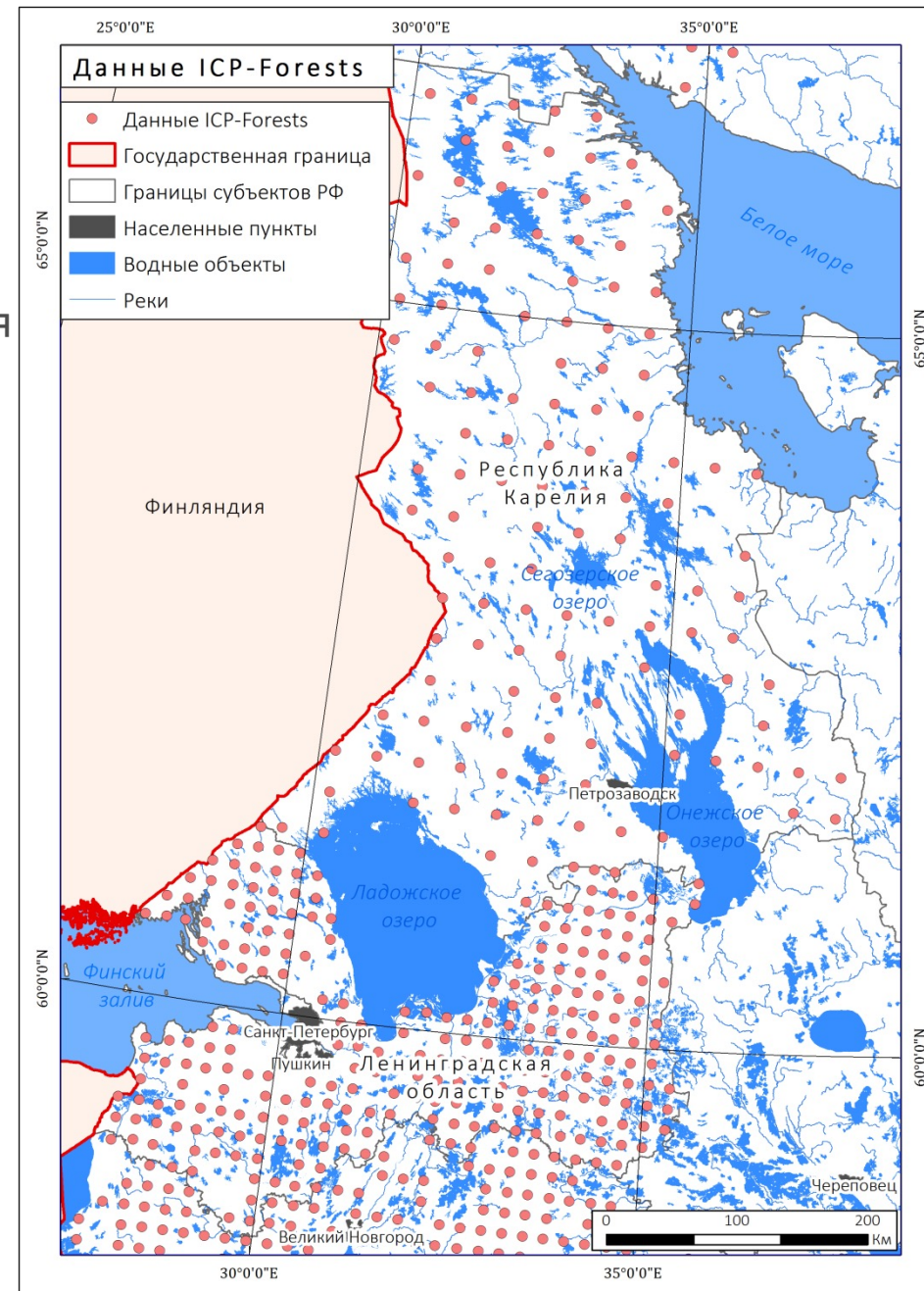
Таксационные характеристики:

ТЛУ, преобладающая порода, тип леса, возраст древостоя и др.

Геоботанические: сомкнутость древесного яруса, общее число видов на ППН (сосудистые, мхи и лишайники) и др.

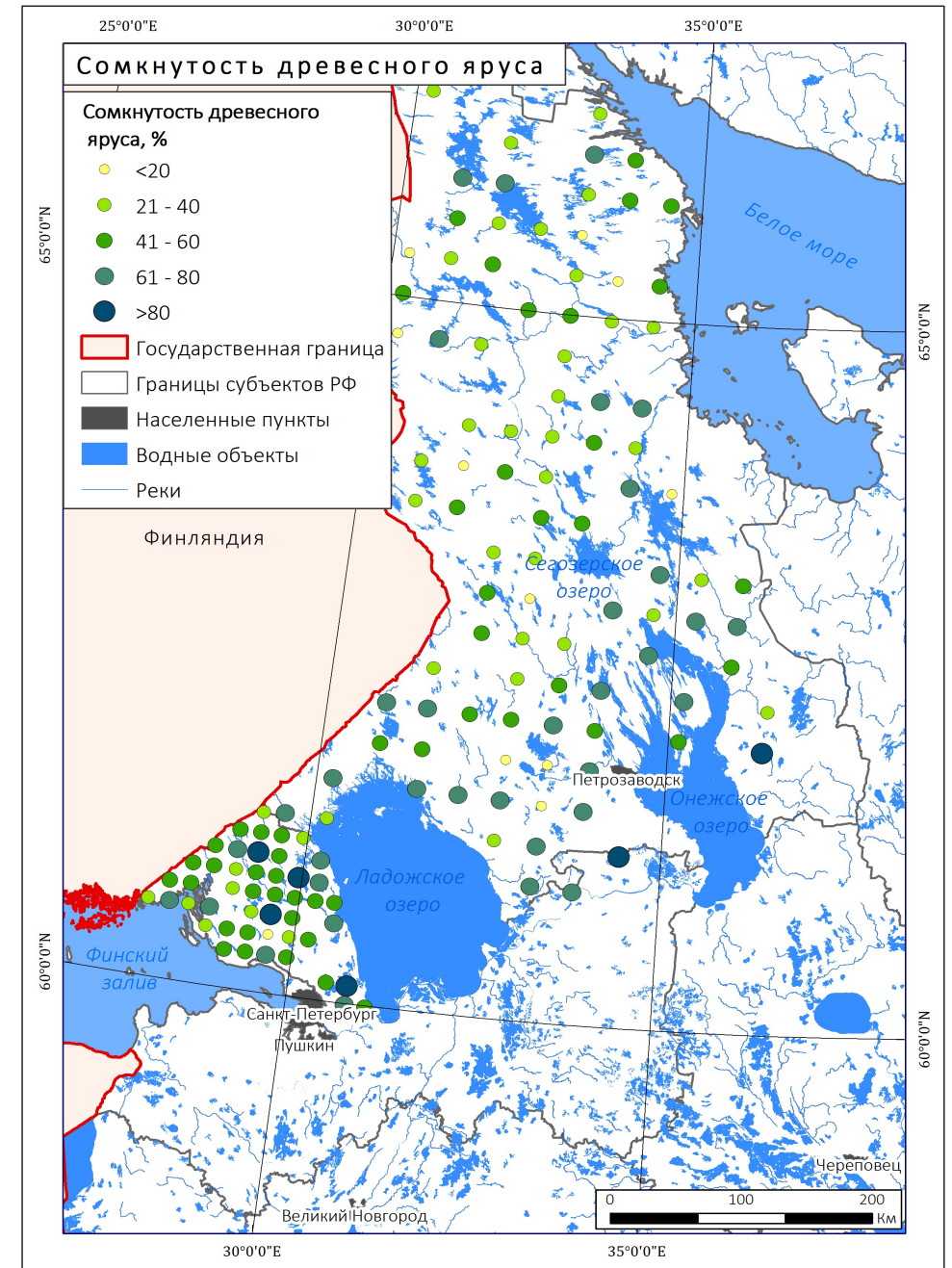
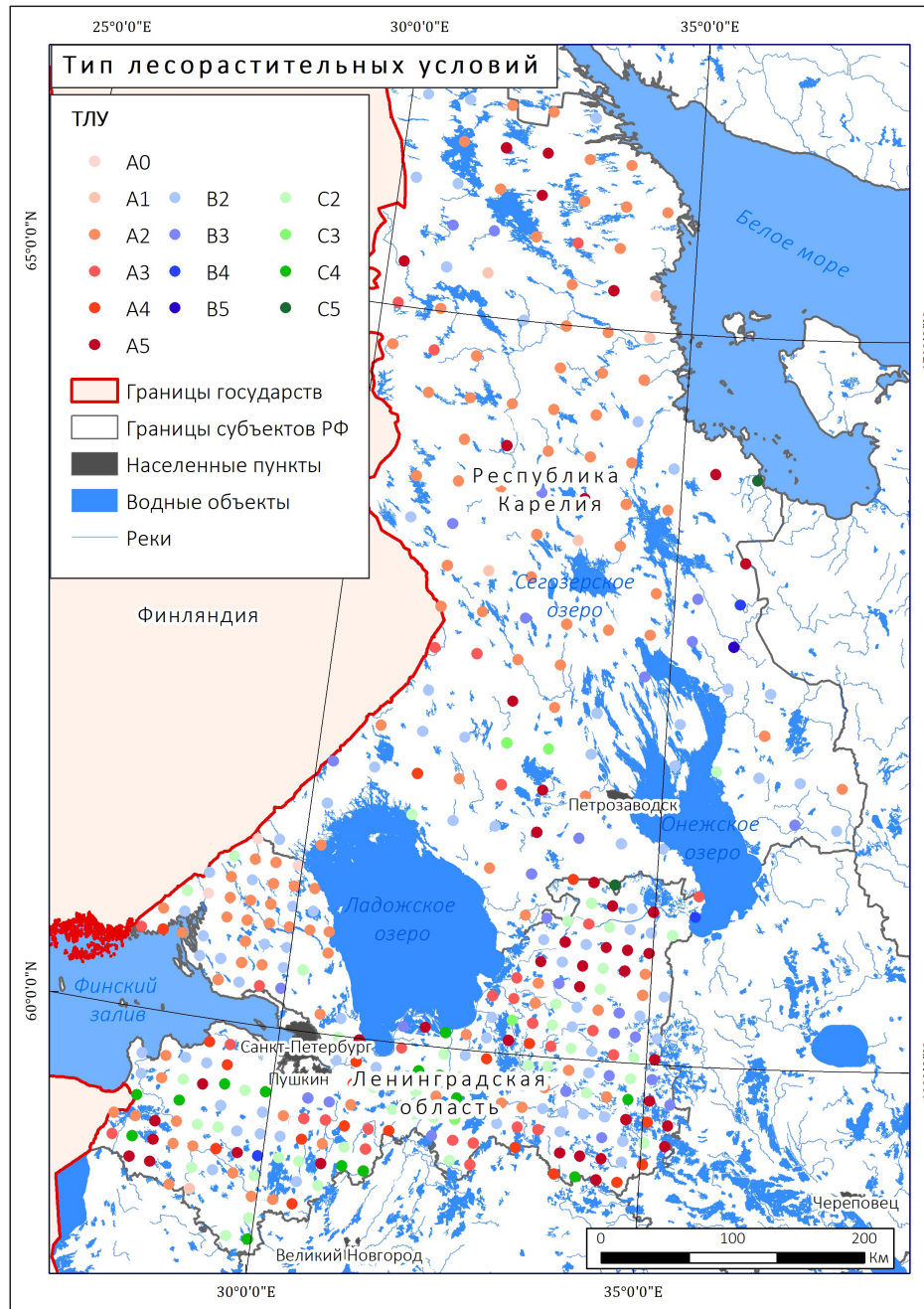
Почвенные: содержание углерода и другие характеристики плодородия почв (N total, C total, Ca, Fe и др.)

2) Использование данных последних лет ИЛ КарНЦ РАН – ?

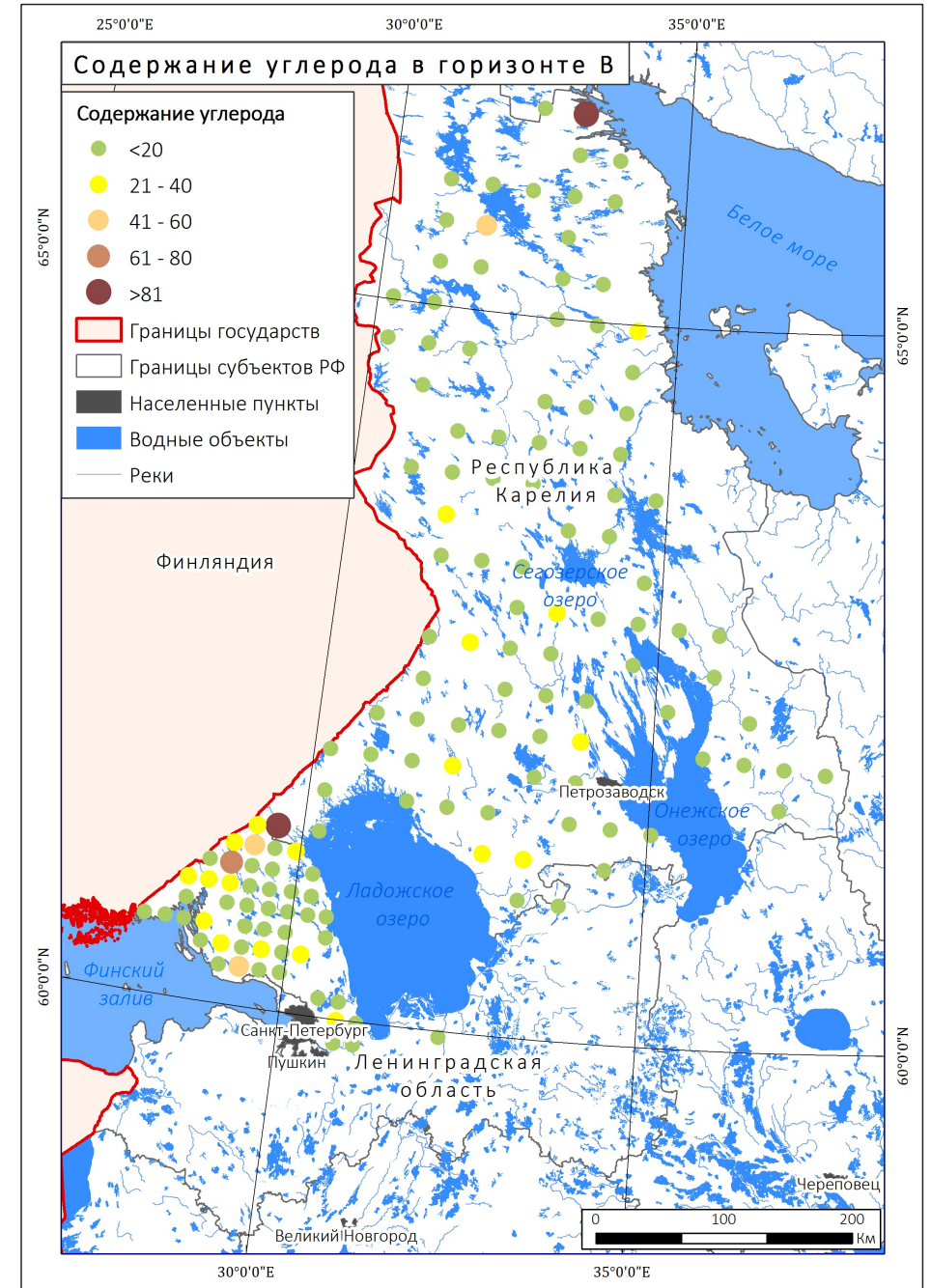
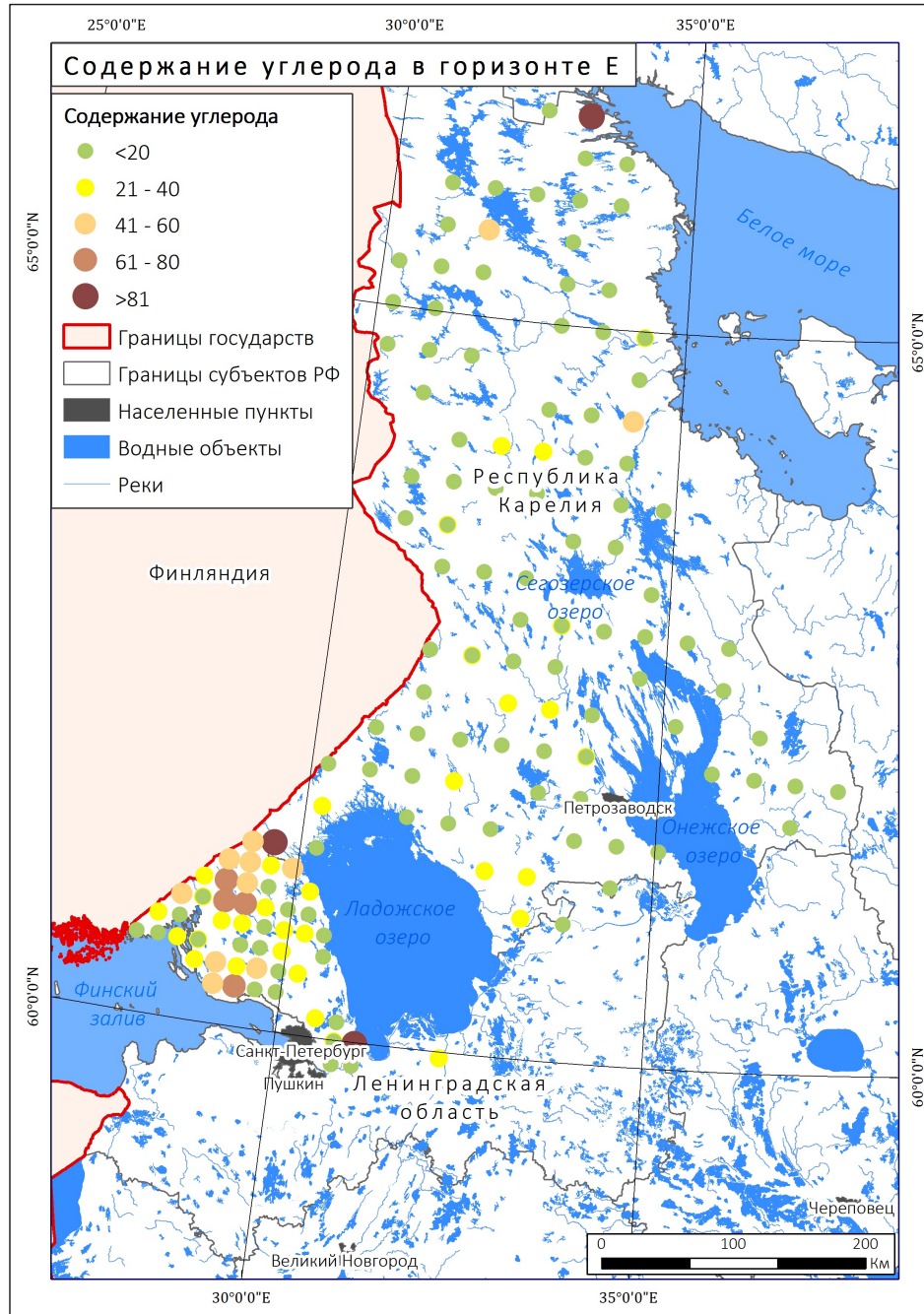


Распределение пунктов постоянного наблюдения (ППН)

Таксационные и геоботанические характеристики



Почвенные характеристики



Картографирование ЛЭУ



Схема исследования

Наземные данные

Данные международной программы ICP-Forests за 2007-2010 гг.
Данные ИЛ КарНЦ РАН за последние годы - ?

Регрессионный анализ

Построение регрессионных моделей с помощью алгоритмов машинного обучения Random Forest на платформе Google Earth Engine

ДЗЗ

Данные высокого пространственного разрешения (Landsat/Sentinel)
Построение разноканальных разносезонных композитов и спектральных индексов
Использование SWVI (Short Wave Vegetation Index) и др.

Дополнительные данные

Рельеф и гидрография

Построение бассейнов/водоразделов рек Карелии

Источники:
Гидрография: данные Open Street Map

Рельеф:
Глобальная ЦМР ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model (National Geophysical Data Center (NGDC) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, США). Пространственное разрешение – 1 угловая минута/пиксель.

Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010). Пространственное разрешение – 7,5"/ 225 м/пиксель.

ASTER Global Digital Elevation Model Version 2. Пространственное разрешение – 30 м/пиксель.

Арктики ArcticDEM (National Science Foundation's Polar Geospatial Center PGC). Большая часть модели имеет разрешение 2 метра/пиксель, около 10 % – 5 метров/пиксель.

Пространственно-временная модель Арктики

Снежный покров
Максимальные снежные запасы
Распространение вечной мерзлоты и подземных льдов
Сплоченность льда, наличие снежного покрова
Контуры ледников
Абсолютная глубина залегания коренных пород
Четвертичные отложения
Подземные воды
Толщина почв, земной коры, осадочного слоя
Типы почв мира
Типы земного покрова по классификации земного покрова ФАО ООН
Площадь лесов, запасы углерода и биомасса
...

Почвы

SoilGrids (global gridded soil information)

Карта почв Карелии ИЛ КарНЦ РАН - ?

Климатические данные

Набор глобальных климатических данных WorldClim

...



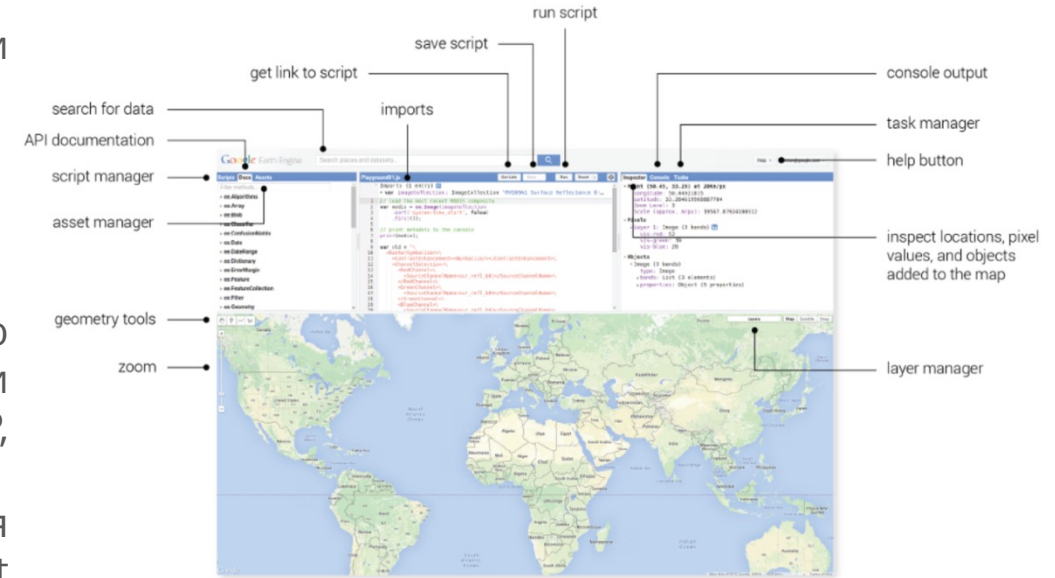
Техническая реализация исследования

Google Earth Engine - это онлайн сервис обработки геопространственных данных

Code Editor - это веб-среда IDE для написания и запуска скриптов.

Главные преимущества:

- 1) позволяет выполнять масштабную геопространственную обработку, связанную с большими наборами геопространственных данных (спутниковые данные, ЦМР, климатическая, почвенная информация и др.)
- 2) наличие инструментов и методов машинного обучения для анализа геопространственных данных (Random Forest и др.)



Интерфейс облачной платформы
The Earth Engine Code Editor

WorldClim BIO Variables V1

Resolution: 927.67 meters

Bands Table

Name	Description	Min*	Max*	Units	Scale
bio01	Annual mean temperature	-290	320	°C	0.1
bio02	Mean diurnal range (mean of monthly (max temp - min temp))	9	214	°C	0.1
bio03	Isothermality (bio02/bio07)	7	96	%	0
bio04	Temperature seasonality (Standard deviation * 100)	62	22721	°C	0.01
bio05	Max temperature of warmest month	-96	490	°C	0.1
bio06	Min temperature of coldest month	-573	258	°C	0.1
bio07	Temperature annual range (bio05-bio06)	53	725	°C	0.1

Dataset Availability: 1960-01-01T00:00:00 - 1991-01-01T00:00:00

Dataset Provider: University of California, Berkeley

Collection Snippet: ee.Image("WORLDCLIM/V1/BIO")

Tags: berkeley, bioclim, climate, coldest, diurnal, driest, isothermality, monthly, precipitation, seasonality

GMTED2010: Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010

DESCRIPTION BANDS TERMS OF USE CITATIONS

The Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) dataset contains elevation data for the globe collected from various sources. The version of the dataset available here is Breakline Emphasis, 7.5 arc-seconds resolution. Breakline emphasis maintains the critical topographic features (streams or ridges) within the landscape by maintaining any minimum elevation or maximum elevation value on a breakline that passes within the specified analysis window. More details are available in the dataset report. The primary source dataset for GMTED2010 is NGA's SRTM Digital Terrain Elevation Data (DTED®, <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) (void-filled) 1-arc-second data. For the geographic areas outside the SRTM coverage area and to fill in remaining holes in the SRTM data, the following sources were used: non-SRTM DTED®, Canadian Digital Elevation Data (CDED) at two resolutions, Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT 5) Reference3D, National Elevation Dataset (NED) for the continental United States and Alaska, GEODATA 9 second digital elevation model (DEM) for Australia, an Antarctica satellite radar and laser altimeter DEM, and a Greenland satellite radar altimeter DEM. This dataset replaces the GTOPO30 Elevation Model.

Dataset Availability: 2010-01-01T00:00:00 - 2010-01-01T00:00:00

Dataset Provider: USGS

Collection Snippet: ee.Image("USGS/GMTED2010")

See example

Tags: usgs, srtm, elevation, dem, topography, geophysical

Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A

DESCRIPTION BANDS IMAGE PROPERTIES TERMS OF USE

Bands Table

Name	Description	Min	Max	Resolution	Units	Wavelength
B1	Aerosols			60 meters		443.9nm (S2A) 442.3nm (S2B)
B2	Blue			10 meters		496.6nm (S2A) 492.1nm (S2B)
B3	Green			10 meters		560nm (S2A) 559nm (S2B)
B4	Red			10 meters		664.5nm (S2A) 665nm (S2B)
B5	Red Edge 1			20 meters		703.9nm (S2A) 703.8nm (S2B)

Dataset Availability: 2017-03-28T00:00:00 - 2021-10-30T00:00:00

Dataset Provider: European Union/ESA/Copernicus

Collection Snippet: ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")

See example

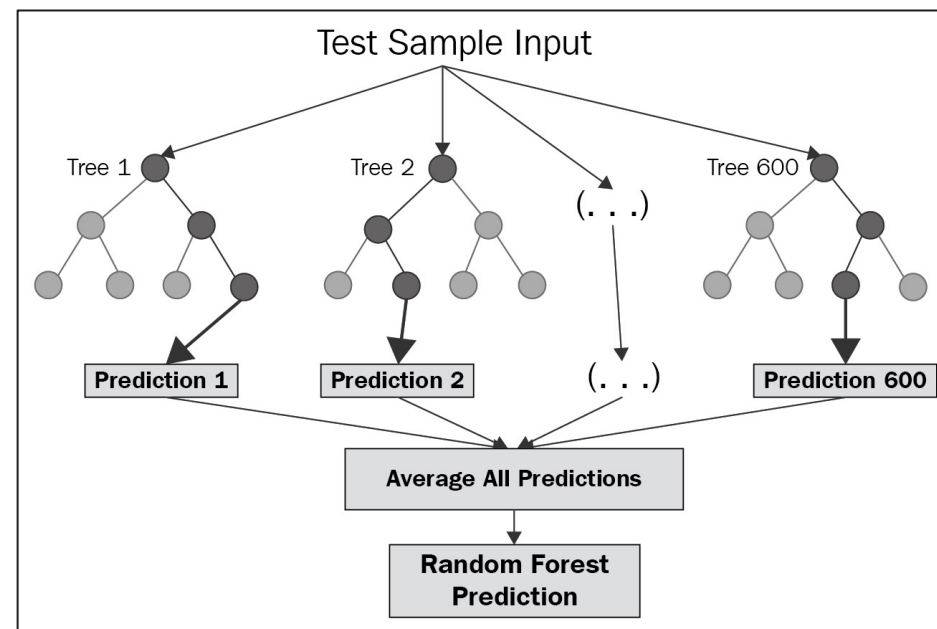
Tags: eu, esa, copernicus, sentinel, msi, sr, reflectance

Алгоритм машинного обучения Случайный лес (Random Forest)

— множество решающих деревьев. Деревья строятся независимо по схеме:

1. Выбор подвыборки обучающей выборки. Построение по ней дерева. Для каждого дерева подвыборка уникальна.
2. Для построения расщепления в дереве используются случайные признаки. Для каждого нового расщепления случайные признаки уникальны.
3. Выбор наилучшего признака и расщепления по нему по заранее заданному критерию. Дерево строится до исчерпания выборки

При решении задачи нахождения регрессионных зависимостей результаты множества решающих деревьев усредняются.



План исследований на 1 год обучения

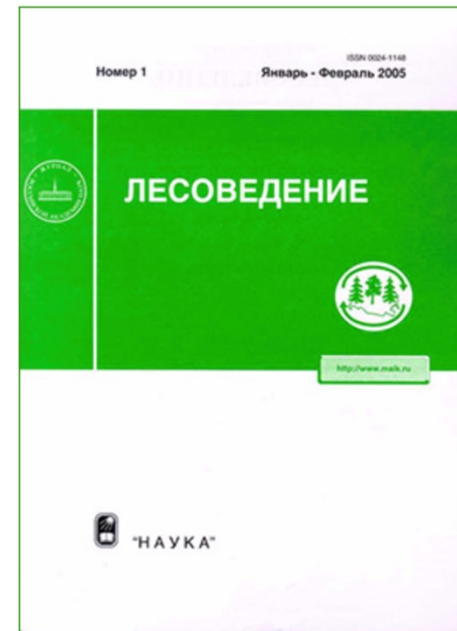
1) изучить платформу Google Earth Engine;

2) изучить существующие методы картографирования ЛЭУ на различных пространственных уровнях;

3) опубликовать обзор методов картографирования ЛЭУ (Журналы «Лесоведение» / «Вопросы лесной науки»);

4) построить регрессионные модели для регулирующих ЛЭУ в минеральных горизонтах почв.

- Ряд занятий по Google Earth Engine
- Лекционно-семинарские занятия по математической статистике





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

