



Международная конференция "Физика атмосферы и климата", посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН



# **Информационная система мониторинга углеродного баланса экосистем - основа природно-климатических решений в Арктической зоне РФ**

**Слободян Владимир Юрьевич**

г. Кисловодск, 7 апреля 2026 г.

# Быстро меняющаяся Арктика

Температура в Российской Арктике повысится на 2.9-3.1 °C к 2040 году и на 4.3-10.6 °C к 2100 году [1]

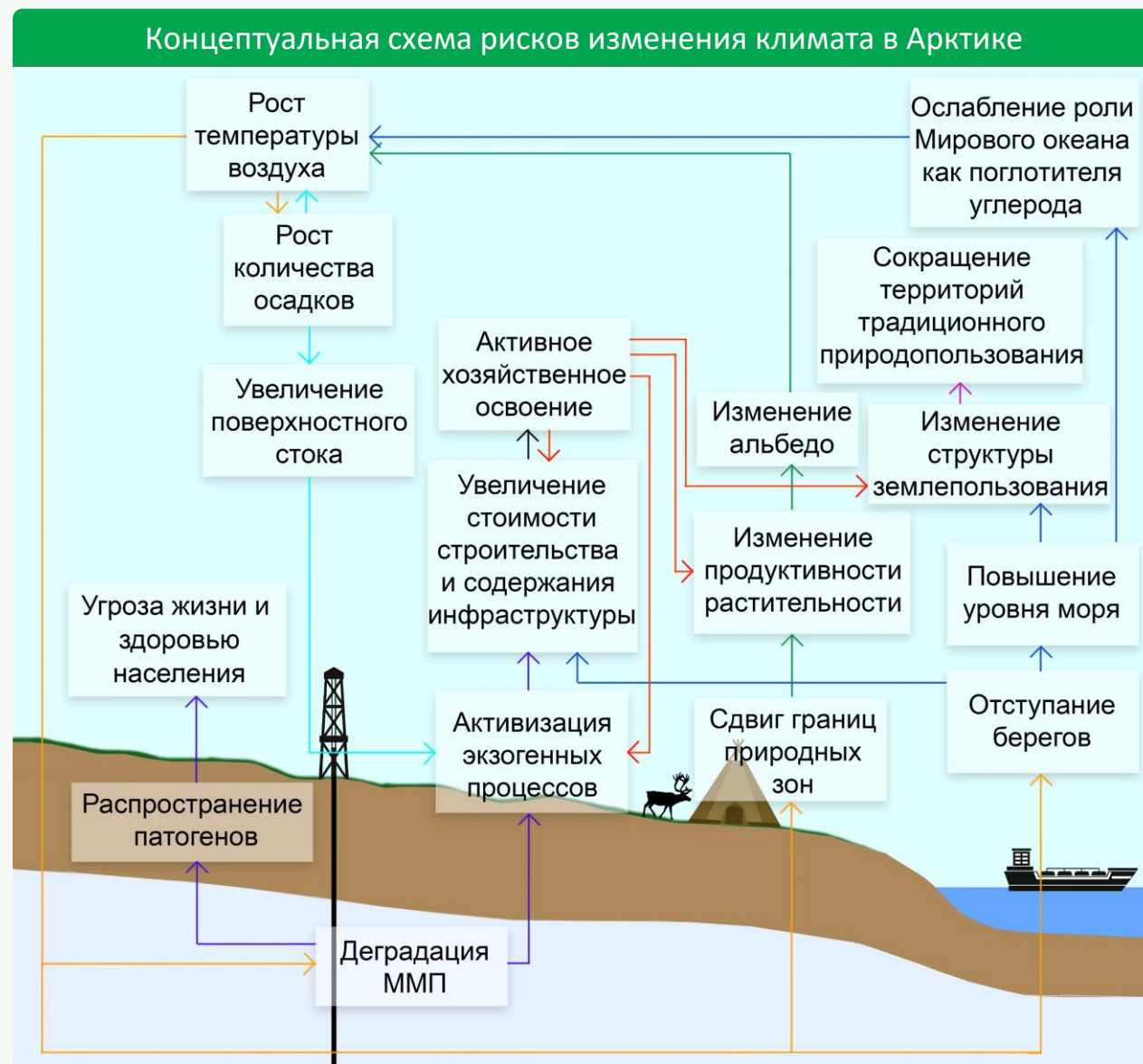
Температура мерзлоты повысилась на 0.2-0.4 °C за 10 лет [2]

Текущая оценка запасов органического углерода в мерзлоте составляет 1400–1600 гигатонн; 65–70% этого углерода сосредоточено в поверхностном слое (глубиной 0–3 м) [3]

Выбросы метана из арктических и бореальных водно-болотных угодий увеличились на 8.9% за последние два десятилетия [4]

1. Gutiérrez et al., 2021; <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>  
2. Biskaborn et al., 2019; [doi:10.1038/s41467-018-08240-4](https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4).

3. Schuur et al., 2022; [doi:10.1146/annurev-environ-012220-011847](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-011847).  
4. Yuan et al., 2024; [doi:10.1038/s41558-024-01933-3](https://doi.org/10.1038/s41558-024-01933-3).



# Быстро меняющаяся Арктика

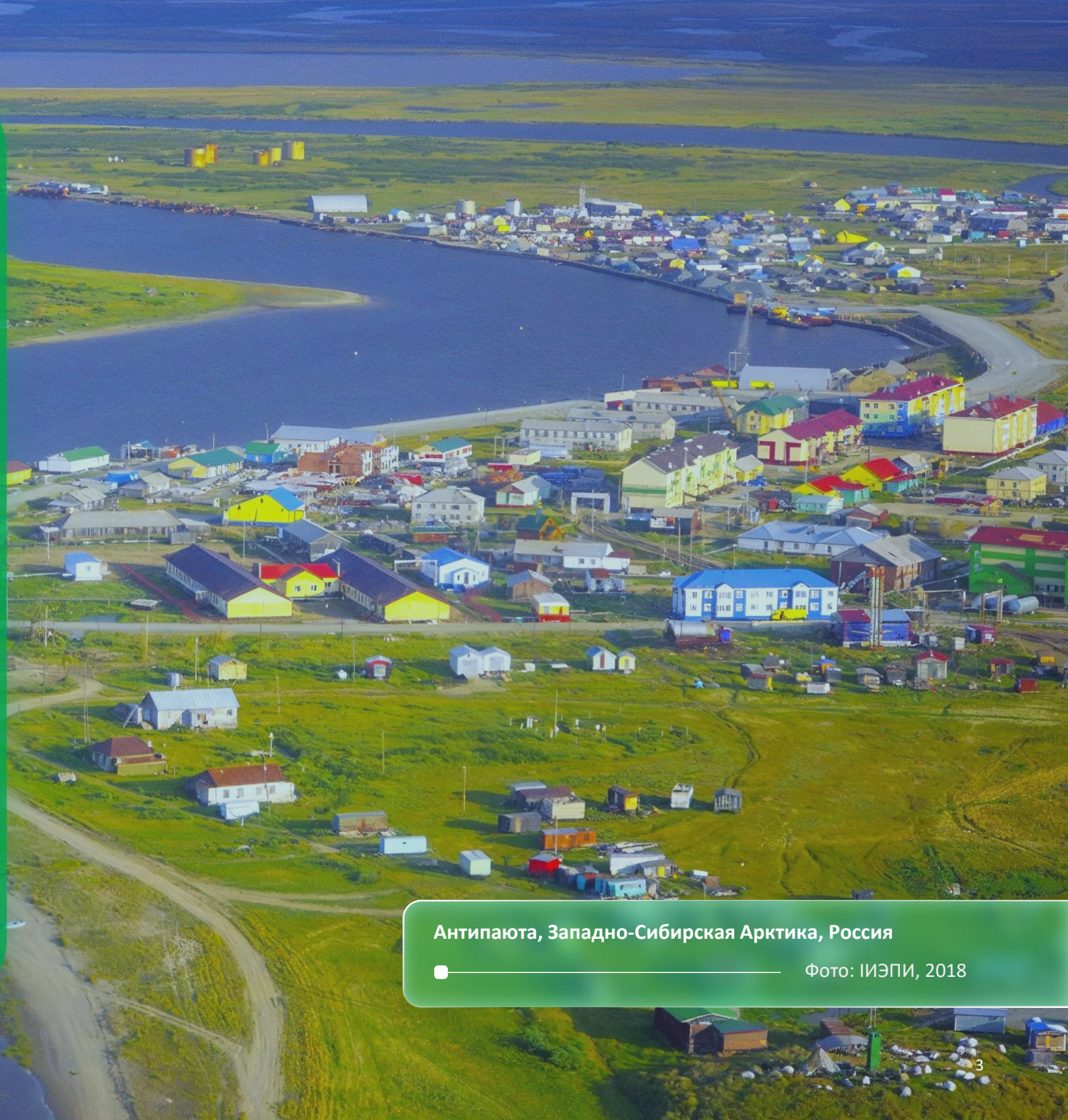
Социально-экономический  
эффект

## 30–50%

критической инфраструктуры может быть  
повреждено к 2050 году <sup>[1]</sup>

Прогнозируемые экономические  
потери

Ущерб от деградации мерзлоты может  
составить 132 млрд долларов [2]:  
повреждение жилого фонда: 15 млрд долларов;  
повреждение линейной инфраструктуры:  
70–100 млрд долларов.



Антипаута, Западно-Сибирская Арктика, Россия

Фото: ИИЭПИ, 2018

1. Hjort et al., 2022; doi:10.1038/s43017-021-00247-8.  
2. Streletskiy et al., 2019; doi:10.1088/1748-9326/aaf5e6.

# Природно-климатические решения

Экосистемный подход



Биоразнообразие и социально-экономические функции экосистем



Природные решения  
Митигационные  
Адаптационные

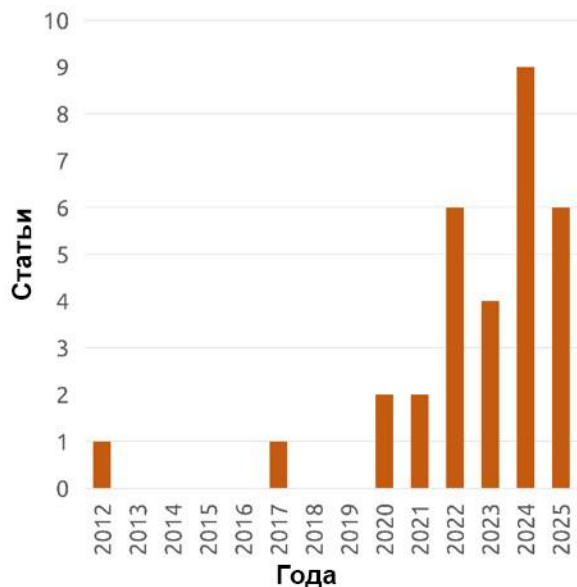


| Категории                           | Подкатегории                                                                                                                                                                                              | Аббревиатура |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Восстановление экосистем            | <ul style="list-style-type: none"> <li>восстановление экосистем</li> <li>экологическое проектирование</li> <li>восстановление лесных ландшафтов</li> </ul>                                                | ER           |
|                                     |                                                                                                                                                                                                           | EE           |
|                                     |                                                                                                                                                                                                           | FLR          |
| Защита экосистем                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>защита природных территорий</li> </ul>                                                                                                                             | AbC          |
| Управление экосистемами             | <ul style="list-style-type: none"> <li>управление на основе экосистемного подхода</li> </ul>                                                                                                              | EbMgt        |
| Инфраструктура                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>зеленая/природная инфраструктура</li> </ul>                                                                                                                        | GI/ NI       |
| Специфические климатические решения | <ul style="list-style-type: none"> <li>экосистемная адаптация</li> <li>экосистемная митигация</li> <li>услуги климатической адаптации</li> <li>экосистемное снижение риска природных катастроф</li> </ul> | EbA          |
|                                     |                                                                                                                                                                                                           | EbM          |
|                                     |                                                                                                                                                                                                           | CAS          |
|                                     |                                                                                                                                                                                                           | Eco-DRR      |

# Природно-климатические решения

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Количество статей, посвященных природно-климатическим решениям в Арктике, по годам



Количество статей, соответствующих теме природно-климатических решений (ПКР) в Арктике, по пяти ключевым направлениям

Ключевые направления

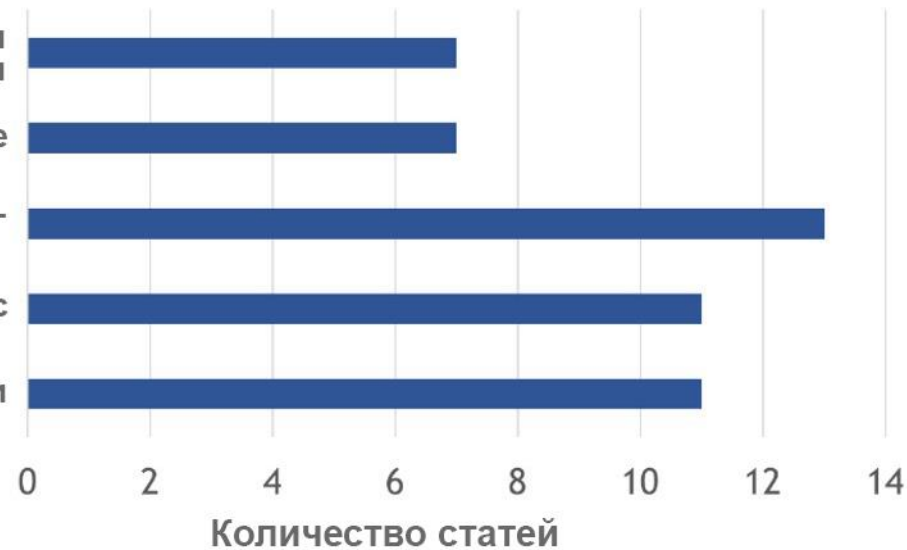
Управление водно-болотными угодьями и торфяниками

Восстановление

Ревайлдинг

Сбалансированный выпас

Управление лесами



Связность ключевых слов

изменение климата

природно-климатические решения

депонирование углерода

потепление климата

трофический ревайлдинг

глобальное потепление

углерод

животные

экосистемы

биоразнообразие

смягчение последствий изменения климата

охрана окружающей среды

сохранение природных ресурсов

мерзлота

морской лед

восстановление травяных сообществ

геоинженерия

биомасса

арктические регионы

растительный покров

травоядность

инжиниринг экосистем

мегафауной

# ПЯТЬ КЛЮЧЕВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

01.

Устойчивое  
управление лесами

02.

Устойчивое управление  
пастбищами

03.

Ревайлдинг

04.

Восстановление  
арктических  
экосистем

05.

Сохранение и  
восстановление  
водно-болотных  
угодий

Стоянка коренных оленеводов на Гыданском полуострове, Западная Сибирь, Россия

Фото: ИЭПИ, 2018

# Исходные данные



Административно-территориальное деление АЗРФ



Основа для  
накопления  
тематических  
данных

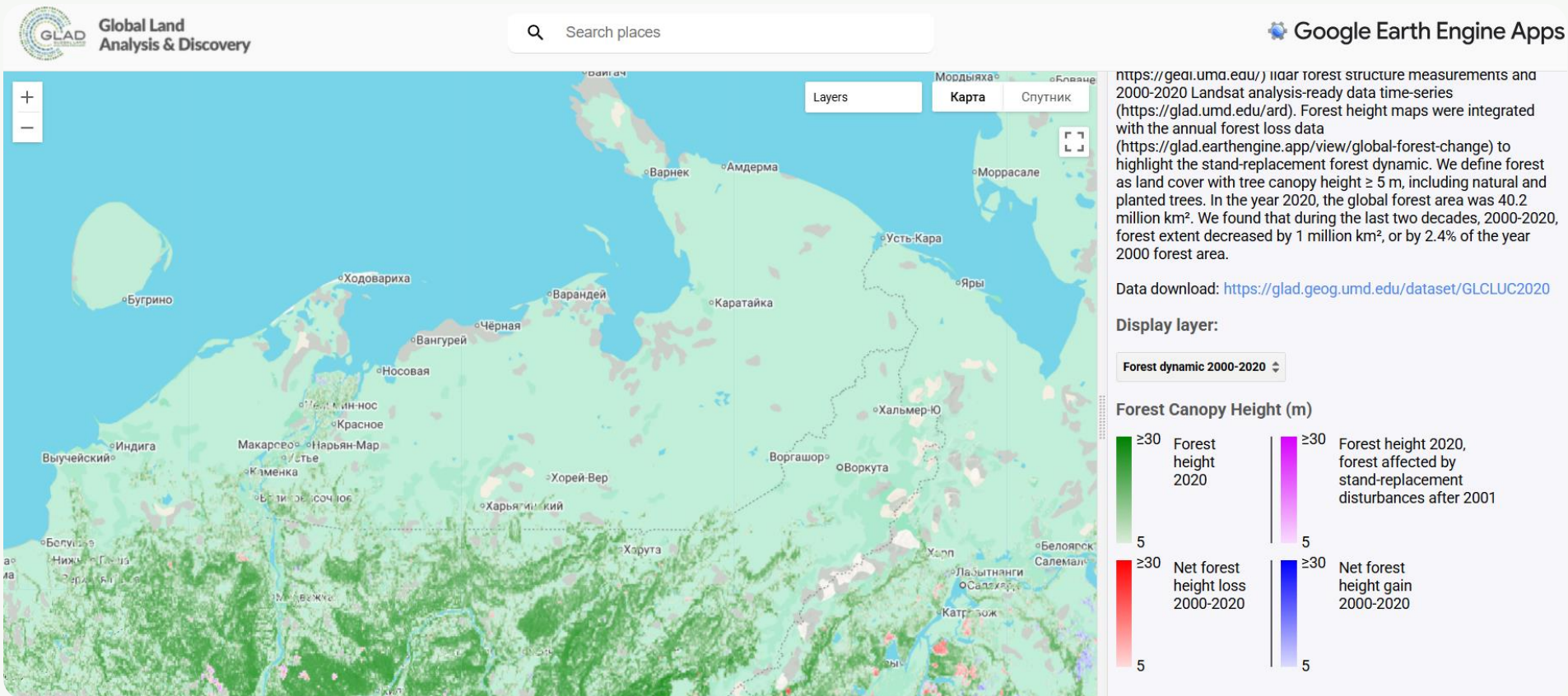


| Id   | Biome_num | Subnumber | Biome_name                                                  | Variant_name    | Region                       | Municipalities                              |
|------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| 8912 | 11        | 116       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Северотаежный   | Ханты-Мансийский автономн... | Белоярский муниципальный район              |
| 8601 | 11        | 116       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Северотаежный   | Ханты-Мансийский автономн... | Белоярский муниципальный район              |
| 8909 | 11        | 116       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Северотаежный   | Ханты-Мансийский автономн... | Белоярский муниципальный район              |
| 8908 | 11        | 116       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Северотаежный   | Ханты-Мансийский автономн... | Белоярский муниципальный район              |
| 8602 | 41        | 41.2      | Хибино-Североуральский гипоарктический таежный              | Североуральский | Ханты-Мансийский автономн... | Березовский муниципальный район             |
| 8910 | 11        | 116       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Северотаежный   | Ямало-Ненецкий автономный... | муниципальный округ Красноселькупский район |
| 8910 | 11        | 11a       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Лесотундровый   | Ямало-Ненецкий автономный... | муниципальный округ Красноселькупский район |
| 8912 | 41        | 41.2      | Хибино-Североуральский гипоарктический таежный              | Североуральский | Ямало-Ненецкий автономный... | муниципальный округ Шурышкарский район      |
| 8912 | 11        | 11a       | Западносибирский северный гипоарктически-редколесно-таёжный | Лесотундровый   | Ямало-Ненецкий автономный... | муниципальный округ Шурышкарский район      |

# Источник тематических данных



Global Land  
Analysis & Discovery



## Global Land Cover and Land Use Change

[1]

## Global Forest Watch

[2]

[1] <https://glad.umd.edu/dataset/GLCLUC2020>

[2] <https://data.globalforestwatch.org/>

## Леса



Площадь

Сокращение площади

Причины сокращения площади

Восстановление

Высоты

## Инфраструктура



Динамика застройки

## Углерод



Поглощение углерода лесами

Выбросы парниковых газов из-за сокращения площади лесов

Результаты инструментальных измерений

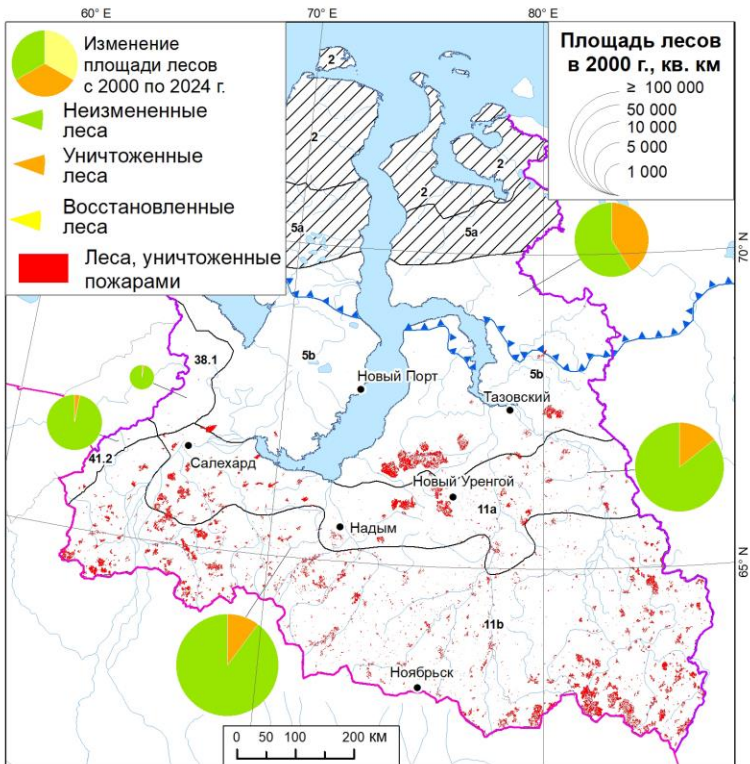
## Почвы



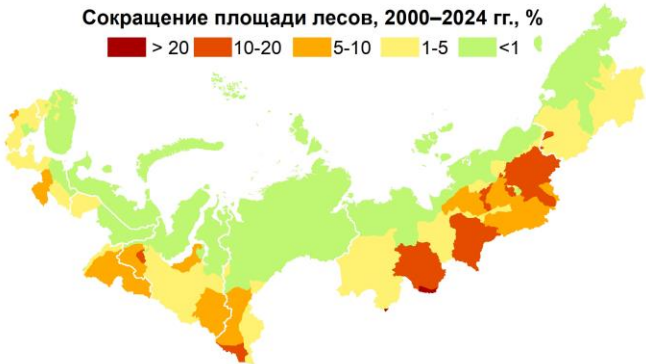
Эрозия после пожаров

Распространение торфяников

# Устойчивое управление лесами в Арктике



## Потеря лесов в Российской Арктике в XXI веке<sup>[1]</sup>



## Площади потери лесов по годам кв. км

| NAME                              | 2001     | 2002     | 2003     | 2004     | 2005    | 2006     | 2007    | 2008     | 2009     | 2010     | 2011    | 2012     | 2013      | 2014     | 2015       | 2016     | 2017       | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022     | 2023      | 2024             |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|----------|------------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|------------------|
| городской округ Ноябрьск          | 0,012... | 0,079... | 0,034... | 0,048... | 0,07... | 0,260... | 0,18... | 0,230... | 0,118... | 0,027... | 0,16... | 0,268... | 0,0780... | 0,151... | 0,15993... | 0,102... | 0,61067... | 0,0971... | 0,1115... | 0,0179... | 0,0188... | 0,238... | 0,1685... | 0,04531636461... |
| муниципальный округ Пуровский ... | 14,84... | 11,09... | 15,57... | 41,44... | 31,5... | 104,5... | 79,6... | 77,77... | 33,14... | 18,72... | 83,9... | 588,6... | 812,78... | 217,1... | 12,8811... | 85,33... | 65,3789... | 12,308... | 10,829... | 5,3442... | 7,5790... | 12,79... | 29,136... | 33,4179611206... |
| городской округ Губкинский        | 0,003... | 0        | 0,010... | 0,022... | 0,04... | 0,090... | 0,03... | 0,239... | 0,076... | 0,050... | 0,03... | 0,136... | 0,0156... | 0,015... | 0,00536... | 0,024... | 0,00501... | 0,0224... | 0,0033... | 0,0741... | 0,0604... | 0,048... | 0,1821... | 0,05834170803... |
| муниципальный округ Приуральск... | 66,27... | 39,93... | 7,955... | 2,418... | 20,6... | 16,49... | 9,84... | 3,853... | 2,673... | 1,272... | 7,89... | 39,43... | 40,646... | 27,84... | 0,21191... | 4,103... | 76,3979... | 62,911... | 0,4225... | 0,1806... | 0,1230... | 1,934... | 31,887... | 2,62310624122... |
| муниципальный округ Надымский ... | 236,6... | 39,25... | 15,13... | 11,62... | 103,... | 27,94... | 54,4... | 83,90... | 15,54... | 1,902... | 30,3... | 420,9... | 179,11... | 43,93... | 1,50120... | 10,47... | 47,7905... | 57,022... | 1,8965... | 2,3489... | 1,8565... | 39,42... | 40,395... | 23,5999507904... |
| муниципальный округ Красносель... | 10,08... | 67,40... | 56,77... | 163,1... | 498...  | 659,9... | 91,8... | 151,8... | 43,83... | 12,39... | 104...  | 949,4... | 1077,8... | 630,9... | 10,0335... | 665,5... | 260,268... | 18,449... | 4,6489... | 16,716... | 4,8877... | 5,656... | 6,0088... | 9,34692859649... |
| муниципальный округ Шурышкарс...  | 278,5... | 51,74... | 7,347... | 20,14... | 58,4... | 253,2... | 48,2... | 5,732... | 2,840... | 8,525... | 27,1... | 78,35... | 978,42... | 419,1... | 3,41326... | 4,084... | 234,058... | 392,50... | 7,1506... | 2,6426... | 0,3883... | 10,30... | 33,655... | 10,5403079986... |
| Белоярский муниципальный район    | 189,1... | 190,5... | 11,34... | 70,23... | 183...  | 209,9... | 67,8... | 22,20... | 17,58... | 13,67... | 77,7... | 290,3... | 466,36... | 312,6... | 23,8676... | 25,14... | 87,1161... | 345,89... | 18,137... | 9,6955... | 7,9595... | 9,620... | 66,365... | 30,2143611907... |
| Березовский муниципальный район   | 151,4... | 2,404... | 8,142... | 47,59... | 275...  | 538,5... | 98,9... | 34,85... | 7,127... | 29,78... | 214...  | 78,04... | 207,38... | 136,7... | 9,66443... | 6,530... | 47,2945... | 12,800... | 0,5976... | 9,4721... | 32,077... | 178,0... | 546,78... | 35,5253067016... |
| Березовский муниципальный район   | 16,49... | 0,834... | 2,452... | 21,73... | 33,9... | 89,92... | 25,5... | 6,253... | 9,047... | 20,03... | 149...  | 110,7... | 27,524... | 26,36... | 25,8547... | 34,99... | 22,4688... | 27,824... | 23,533... | 45,728... | 79,624... | 216,5... | 726,79... | 64,9227981567... |
| муниципальное образование Туру... | 35,92... | 11,46... | 41,30... | 67,24... | 119...  | 442,9... | 30,9... | 43,20... | 44,98... | 5,454... | 69,3... | 1098...  | 641,86... | 608,9... | 10,8486... | 834,4... | 455,391... | 11,467... | 4,7107... | 5,1747... | 11,380... | 10,22... | 8,6973... | 30,5181083679... |

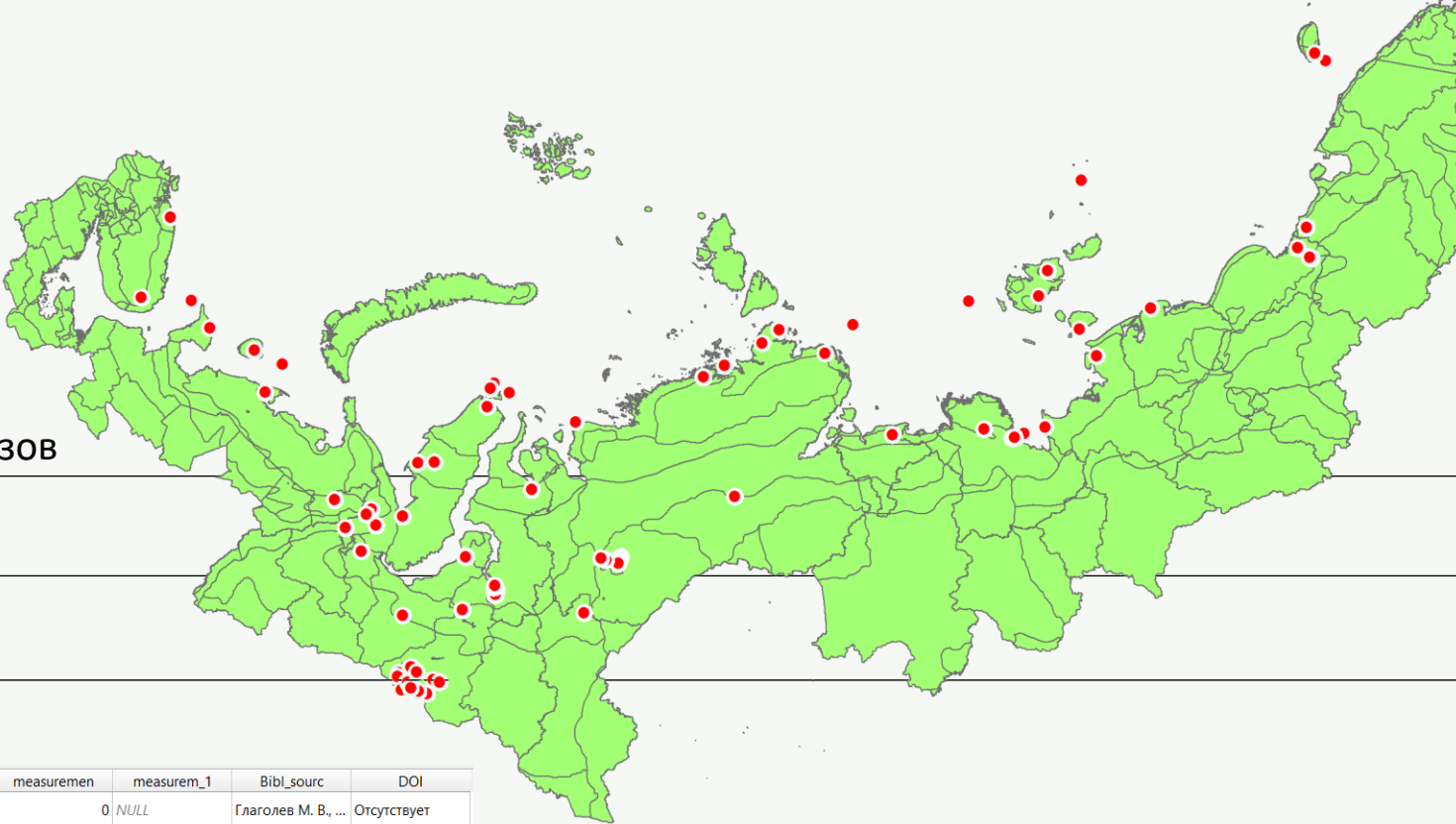
1. Hansen et al. 2013; doi:10.1126/science.1244693.

# Результаты инструментальных измерений\*

Эмиссия парниковых газов

Содержание углерода в почвах

Содержание углерода в растениях



|      | ID          | ID_loc     | longitude | latitude  | characteri  | value_ORIG | units_ORIG | measuremen | measurem_1 | Bibl_sourc          | DOI         |
|------|-------------|------------|-----------|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|---------------------|-------------|
| 1887 | ACDB0001887 | Taz.Oz.5   | 78,922620 | 67,190050 | Эмиссия CH4 | 0,34       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1888 | ACDB0001888 | Taz.Oz.5   | 78,922620 | 67,190050 | Эмиссия CH4 | 0,73       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1889 | ACDB0001889 | Taz.Oz.5   | 78,922620 | 67,190050 | Эмиссия CH4 | 0,08       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1890 | ACDB0001890 | Taz.Oz.5   | 78,922620 | 67,190050 | Эмиссия CH4 | 0,34       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1891 | ACDB0001891 | Taz.Oz.6.1 | 78,919070 | 67,193120 | Эмиссия CH4 | 0,81       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1892 | ACDB0001892 | Taz.Oz.6.1 | 78,919070 | 67,193120 | Эмиссия CH4 | 0,08       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1893 | ACDB0001893 | Taz.Oz.6.1 | 78,919070 | 67,193120 | Эмиссия CH4 | 0,31       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1894 | ACDB0001894 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,01       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1895 | ACDB0001895 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,6        | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1896 | ACDB0001896 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,74       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1897 | ACDB0001897 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,39       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1898 | ACDB0001898 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,9        | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1899 | ACDB0001899 | Taz.Oz.6.2 | 78,921130 | 67,195070 | Эмиссия CH4 | 0,09       | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1900 | ACDB0001900 | Tz.OL.5.1  | 78,641140 | 67,401420 | Эмиссия CH4 | -0,01      | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |
| 1901 | ACDB0001901 | Tz.OL.5.1  | 78,641140 | 67,401420 | Эмиссия CH4 | -0,06      | мгС/м²/ч   | 0          | NULL       | Глаголев М. В., ... | Отсутствует |

\* По литературным данным

# Заключение



Перспективные решения по секвестрации углерода могут обеспечить сопутствующие выгоды для биоразнообразия и традиционного уклада жизни коренных народов.



Наиболее перспективным представляется синергетический подход, объединяющий стратегии сохранения, восстановления и управления на основе сотрудничества между государством, промышленностью и наукой.



В качестве основы ПКР для Арктической зоны РФ разработана информационная система мониторинга углеродного баланса на базе пространственных данных. Созданная база позволяет не только оценивать текущее состояние арктических экосистем, но и моделировать будущие изменения под влиянием природных и антропогенных факторов.



Институт экологического проектирования и  
изысканий

# Информационная система мониторинга углеродного баланса экосистем - основа природно-климатических решений в Арктической зоне РФ

**Владимир Юрьевич Слободян**

Генеральный директор

Посетите наш сайт



[iepi.ru](http://iepi.ru)