



IUCN

Всемирный Союз по Сохранению Комиссия по Выживанию Видов



Роль мерзлотных экосистем Якутии в глобальном контексте

Трофим Христофорович Максимов, д.б.н.

- **Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,**
- **Международные проекты по изменению климата,**
- **Комиссия по выживанию видов Всемирного Союза по сохранению природы *SSC IUCN*,**
- **Техническая группа *CAFF* Арктического Совета «Сохранение арктической флоры и фауны»**

Причины изменения климата

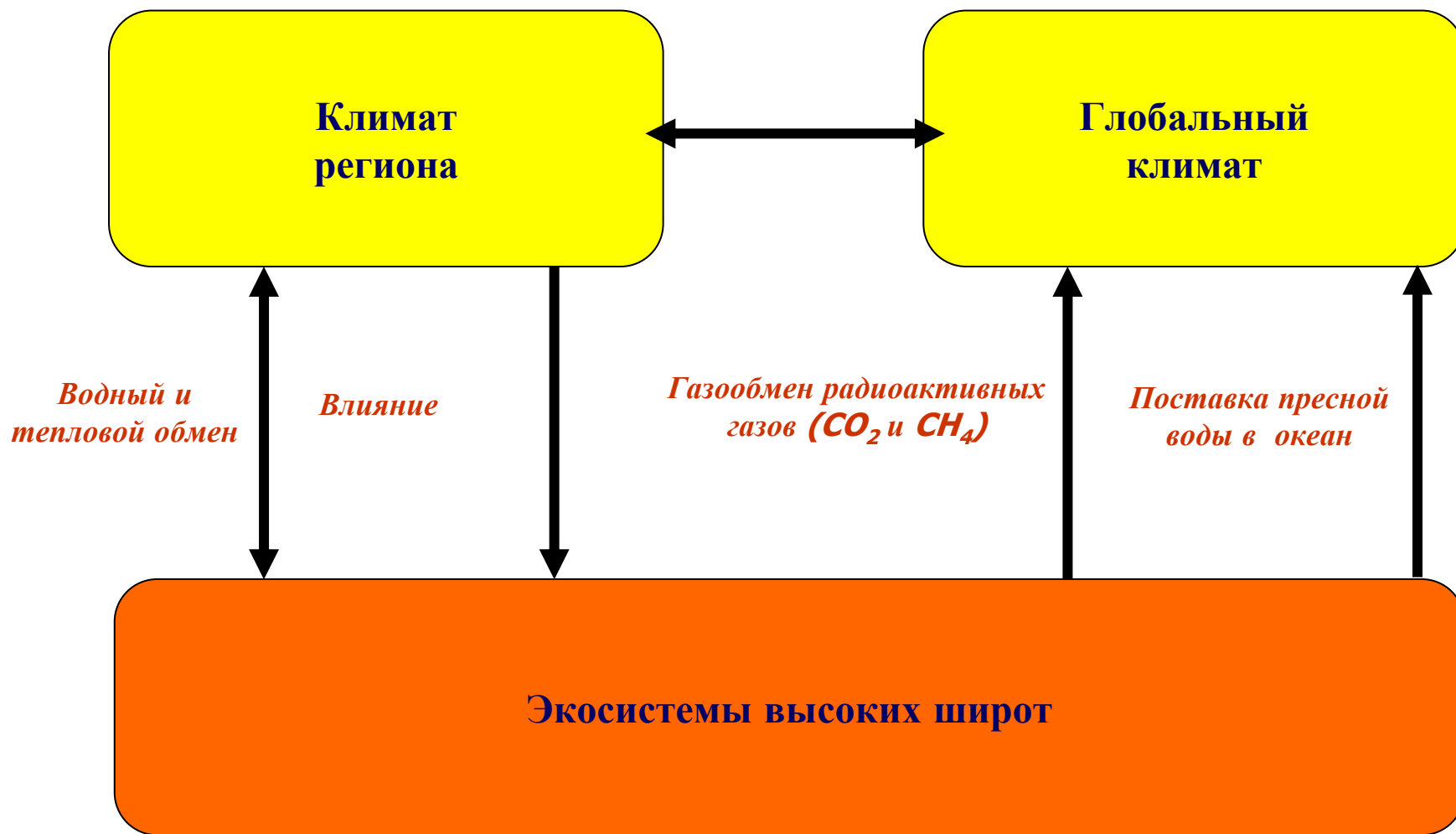
Естественные факторы

- смещение орбиты и угла наклона Земли;
- изменения солнечной активности;
- вулканические извержения;
- изменения в распределении природных аэрозолей

Парниковые газы, образующиеся в результате деятельности человека (антропогенные газы)

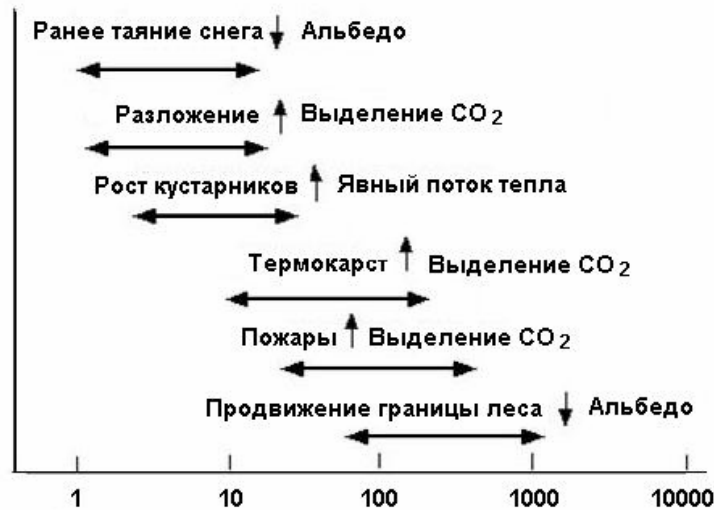
- двуокись углерода;
- метан;
- закись азота;
- озон

Основные пути экосистем высоких широт, влияющих на климатическую систему

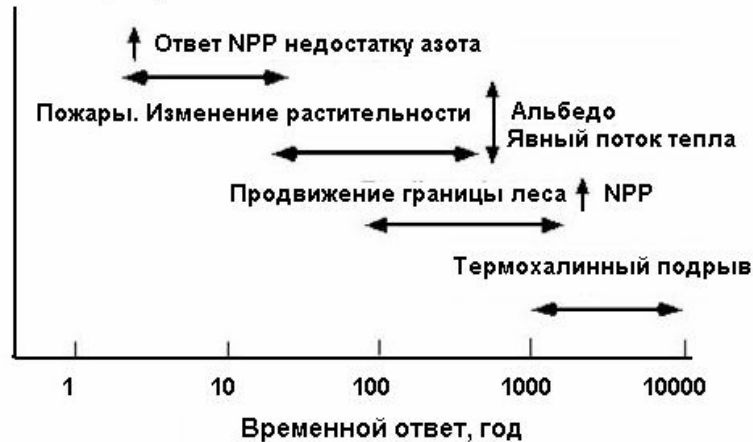


Периоды реагирования, в течение которого наиболее выражены положительные и отрицательные обратные связи с климатом

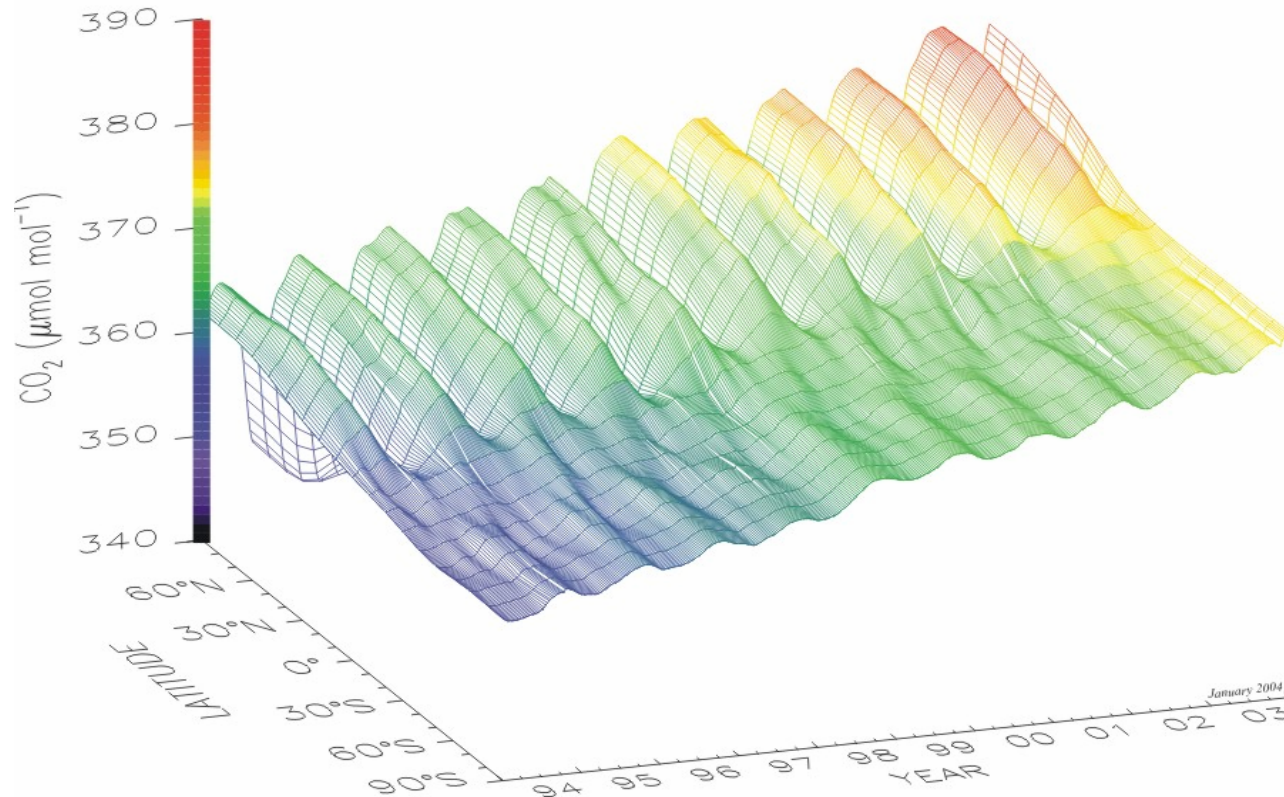
Положительный ответ на потепление



Отрицательный ответ на потепление



Глобальное распределение атмосферной [CO₂]



Three dimensional representation of the latitudinal distribution of atmospheric carbon dioxide in the marine boundary layer. Data from the NOAA CMDL cooperative air sampling network were used. The surface represents data smoothed in time and latitude. Principal investigators: Pieter Tans and Thomas Conway, NOAA CMDL Carbon Cycle Greenhouse Gases, Boulder, Colorado, (303) 497-6678 (pieter.tans@noaa.gov, <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg>).

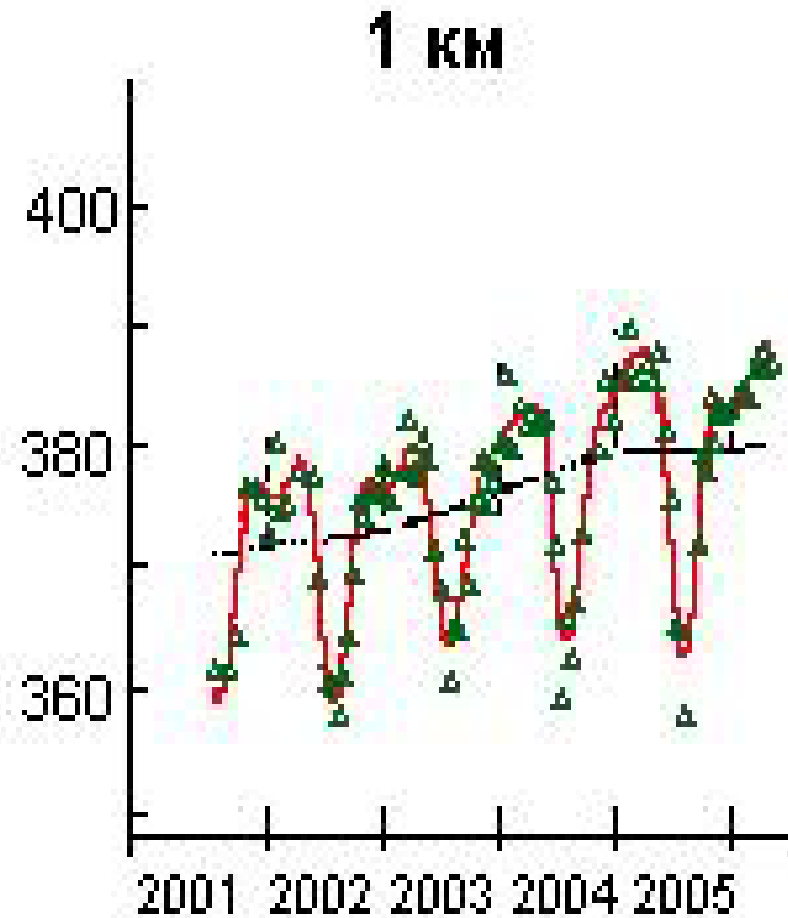
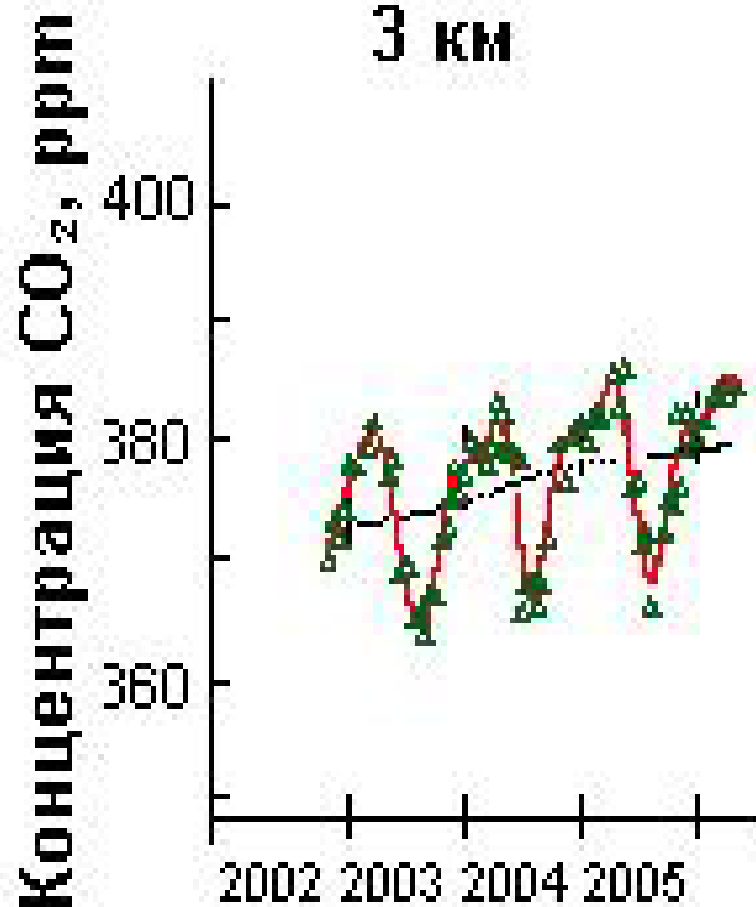
Киотский Протокол ООН

- Принят в декабре 1997 г. в древней столице Японии Киото;
- К 2008-2012 гг. развитые страны должны сократить свои общие выбросы парниковых газов, по меньшей мере, на **5%** по сравнению с уровнем 1990 г.;
- Протокол вступит в силу через 90 дней после его ратификации 55 государствами, на долю которых приходится 55% общих выбросов диоксида углерода;
- РФ подписала Протокол и **ратифицировала** его в феврале 2005 года;
- Стоимость сокращения эмиссии одной тонны CO₂ (в единицах C) составляет **150-600 \$**.

Якутии (3.1 млн. кв. км), как значительная часть планетарного Севера, играет важную роль в климатической системе Земли

- 1. Свободный резерв биосферы и тем самым выполняет экологические функции глобального масштаба. В Якутии представлены все компоненты окружающей среды Севера, которые могут измениться с изменением климата: Северный Ледовитый океан, вечная мерзлота, северная граница лесов, северные виды растений и животных**
- 2. Составная часть Арктики в пределах Единого циркумполярного экологического пространства отличается рядом специфических природно-климатических факторов, оказывающих влияние на направления, масштабы и формы хозяйственного развития, природопользования, на охрану окружающей среды**
- 3. Играет важную роль в континентальном и глобальном балансе углерода, но и предоставляет ключевую возможность аккумуляции CO₂ через гибкие механизмы Киотского Протокола ООН 1997 г. по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу.**

Концентрация углекислоты над Якутском



Метеорологические наблюдения за последние 100-150 лет в области «вечной мерзлоты» в Сибирской и Центральной Азии

- **XX столетие по всей северной половине Азии было теплее XIX в. Так, за 100 лет, начиная с конца позапрошлого века, зимние температуры в Восточной Сибири (Якутии) повысились на 10°C. Годовые температуры за прошлое столетие повысились повсеместно на 2-3,5°C.**
- **Неуклонное потепление проявилось во второй половине XX века, особенно с 70-х, 80-х гг.. За последние 50 лет температура в Якутии повысилась в январе на 7°C, т.е. в 1,5-2 раза интенсивнее, чем в первой половине столетия. Годовые температуры повысились в последние годы на 1-2°C.**
- **Тренд потепления в высоких широтах (Центральная и Восточная Якутия) в 1,5 раза больше, чем в Южной Сибири, и в 3 раза больше, чем в Монголии.**

Скользящие 11-летние средние температуры воздуха, °С. Арктическая, Северо-восточная и Центральная Якутия

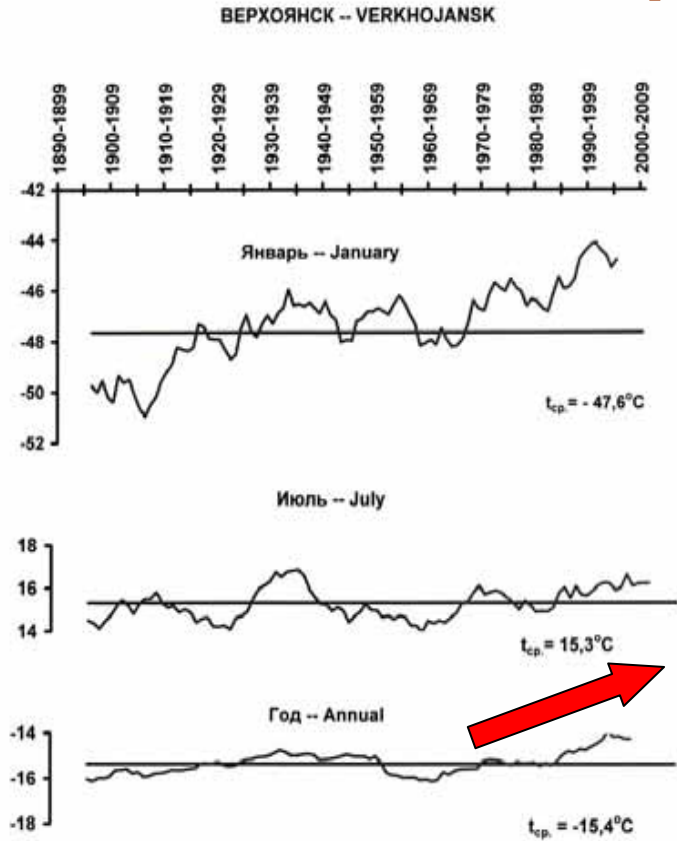


Рис. Скользящие 10 - летние средние температуры воздуха, °С. Северо - Восточная Якутия

Fig. Sliding 10 - year average temperatures, °С. The North - Eastern Yakutia.

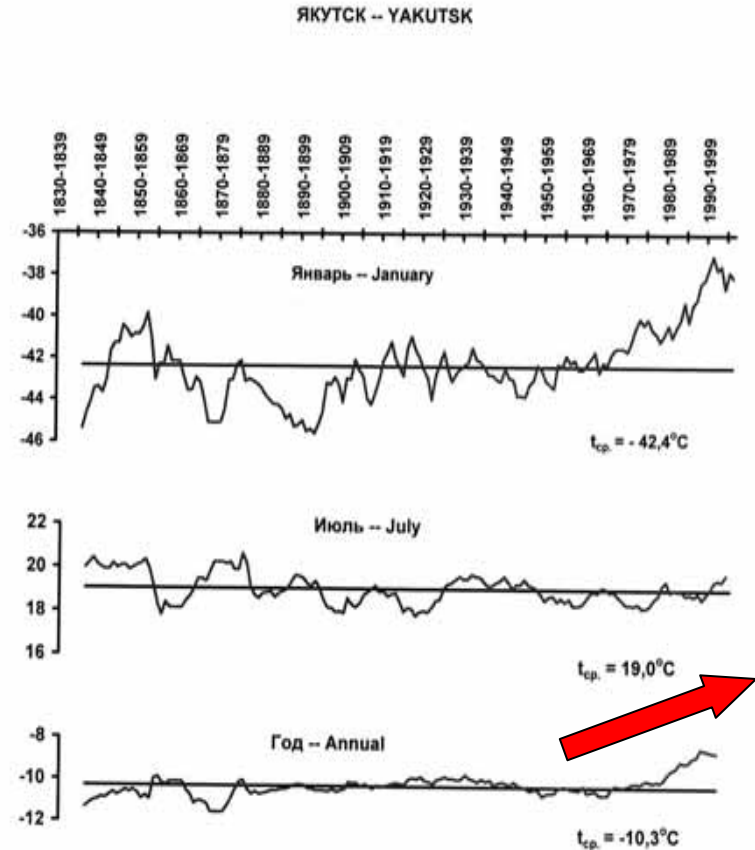
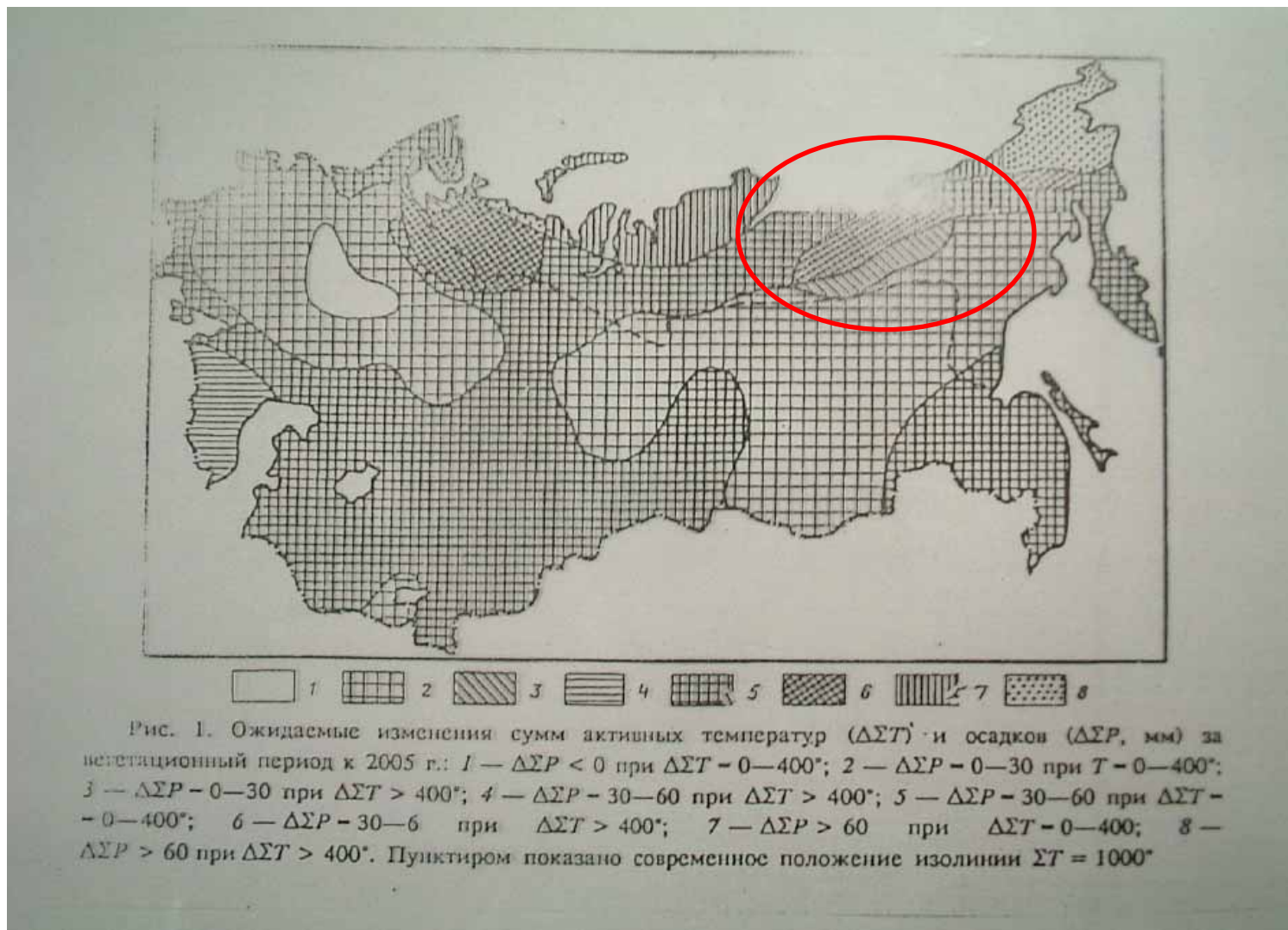


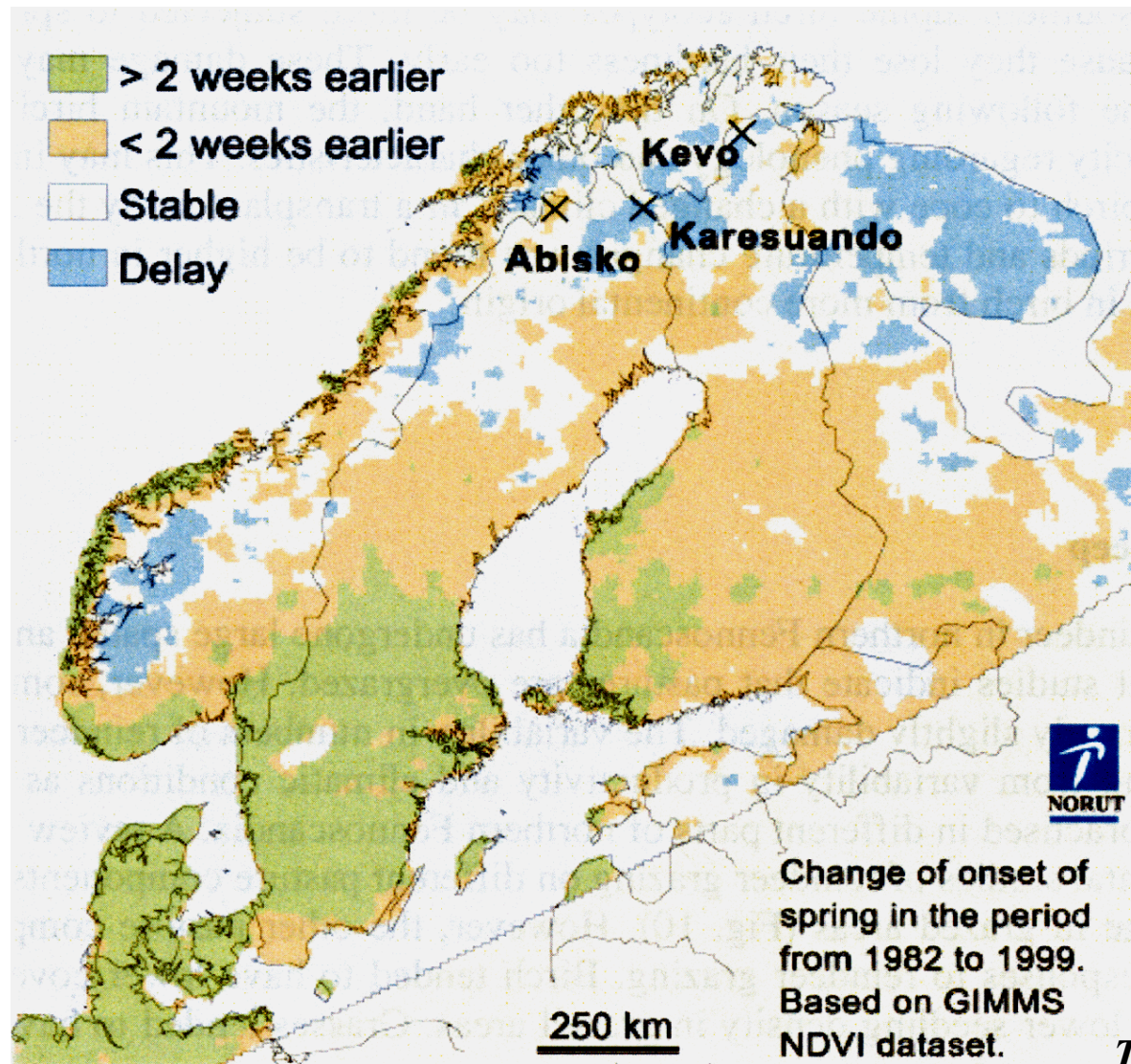
Рис. Скользящие 10 - летние средние температуры воздуха, °С. Центральная Якутия.

Fig. Sliding 10 - year average temperatures, °С. Central Yakutia.

Ожидаемые изменения сумм активных температур ($\Delta\Sigma T$) и осадков ($\Delta\Sigma P, \text{mm}$) за вегетационный период растений к 2005 году



Изменения сроков наступления весны, 1982-1999 гг.



T. Callaghan, 2006

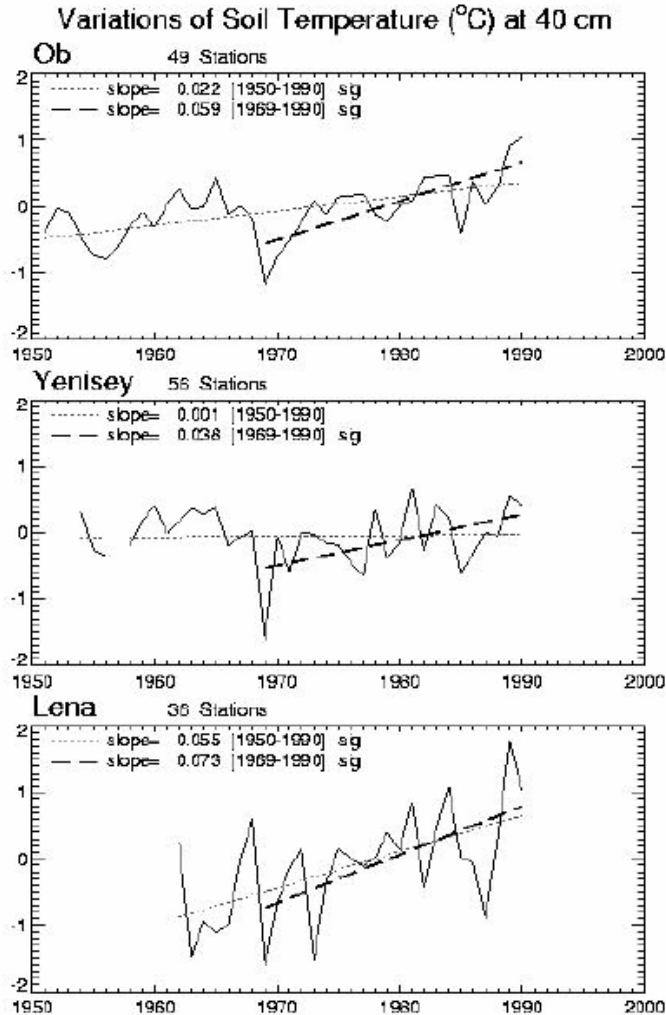
Число описанных видов растений и животных в Якутии

| Группа организмов | Год | | | |
|-----------------------|------|------|------|-------------|
| | 1935 | 1965 | 1995 | 2000 |
| Грибы | | | 241 | >500 |
| Растения: | | | | |
| - сосудистые | 1190 | 1560 | 1839 | 1916 (76%*) |
| - споровые | 577 | 1830 | 3609 | 3609 (62%) |
| в том числе: | | | | |
| - мхи | 181 | 236 | 444 | 517 (55%) |
| - лишайники | 42 | 300 | 550 | 705 (67%) |
| - водоросли | 354 | 1300 | 2615 | 2836 (65%) |
| Животные: | | | | |
| - насекомые | 600 | 1100 | 4000 | 4300(40%) |
| - рыбы (виды и формы) | 36 | 53 | 53 | 53(97%) |
| - амфибии | 2 | 2 | 4 | 5(99%) |
| - рептилии | 2 | 2 | 2 | 2(99%) |
| - птицы | 138 | 250 | 280 | 291(92%) |
| - млекопитающие | 37 | 60 | 63 | 75(98%) |

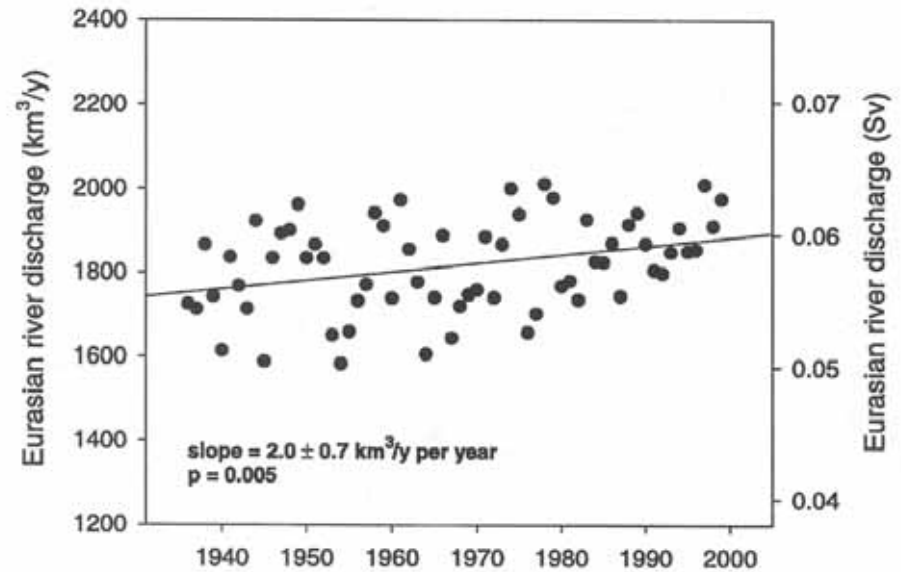
* в скобке предполагаемый процент изученности

Solomonov, 2004

Температура почвы



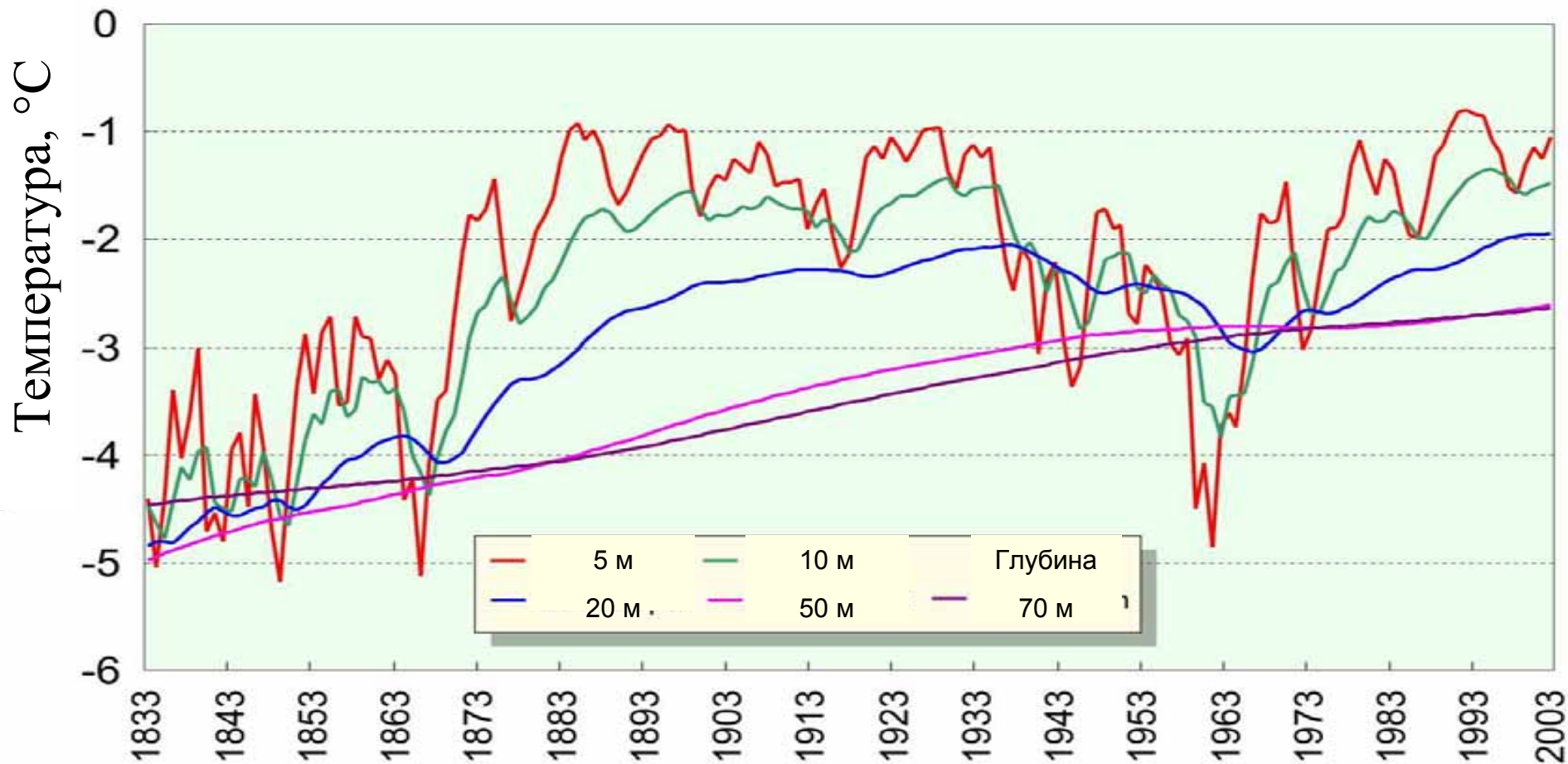
Увеличение стока



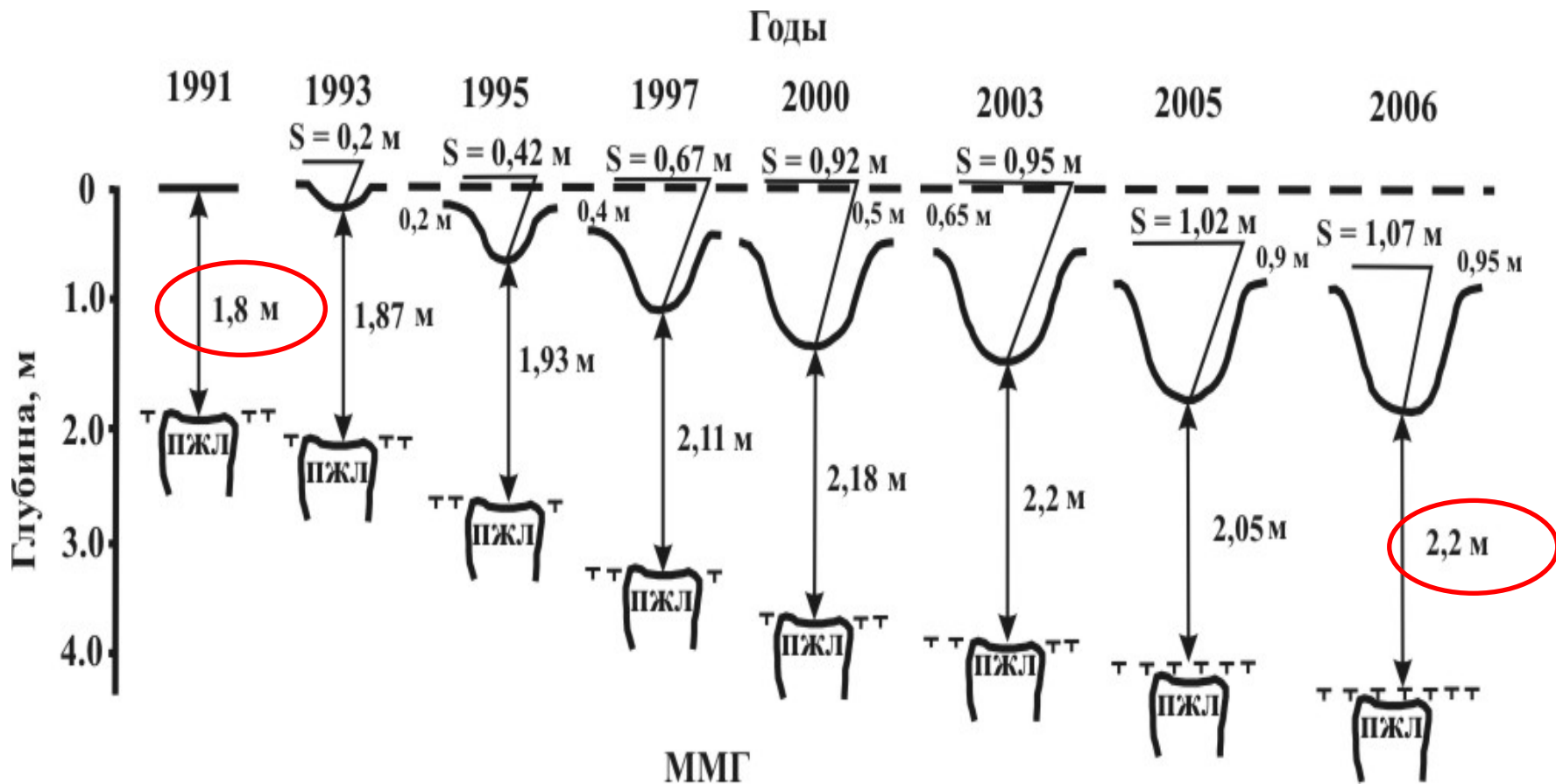
Увеличение температуры

- Обь- 1.2°C
- Енисей- 0.8°C
- Лена- 1.5°C
- Прогноз: 3-5°C за 50 лет

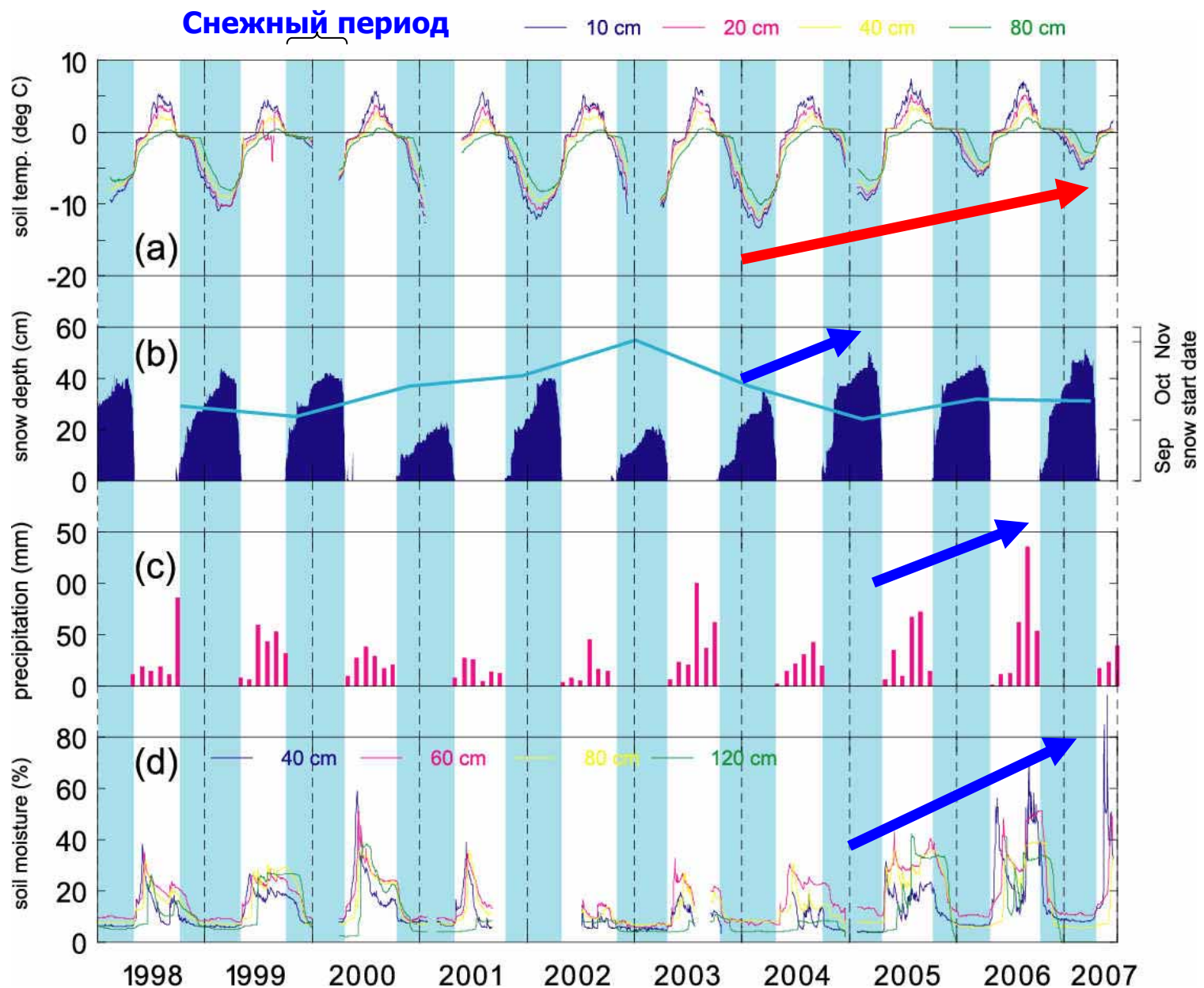
Изменение температуры мерзлого грунта. Якутск, шахта Шергина, 1833 – 2003 гг.



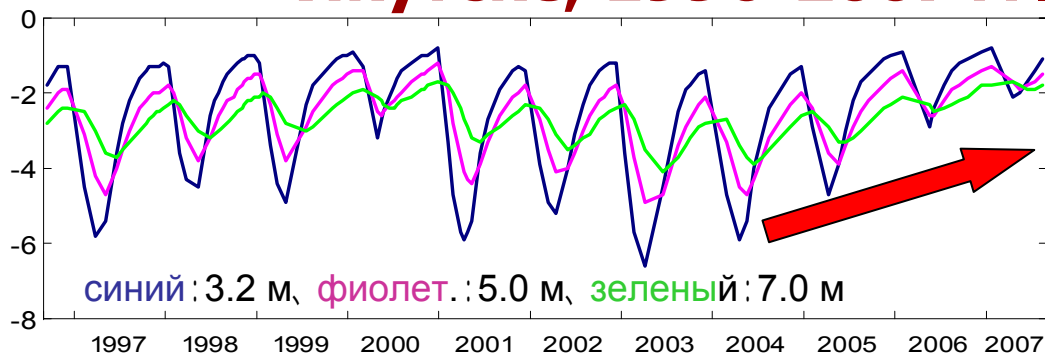
Динамика оттаивания повторно-жильных льдов (ПЖЛ) и развития термопросадки (S) на полигоне Дыргыабай Атага в 1993-2000 гг.



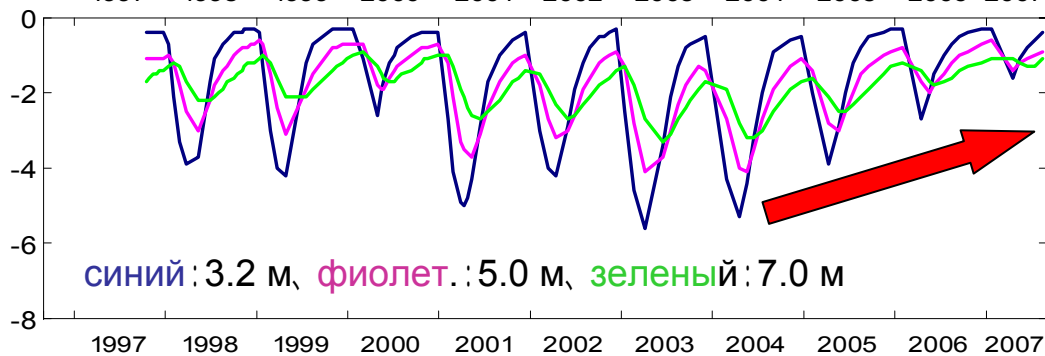
Межгодовые вариации температуры и влажности почвы в лиственничном лесу. Спасская падь, 1998-2007



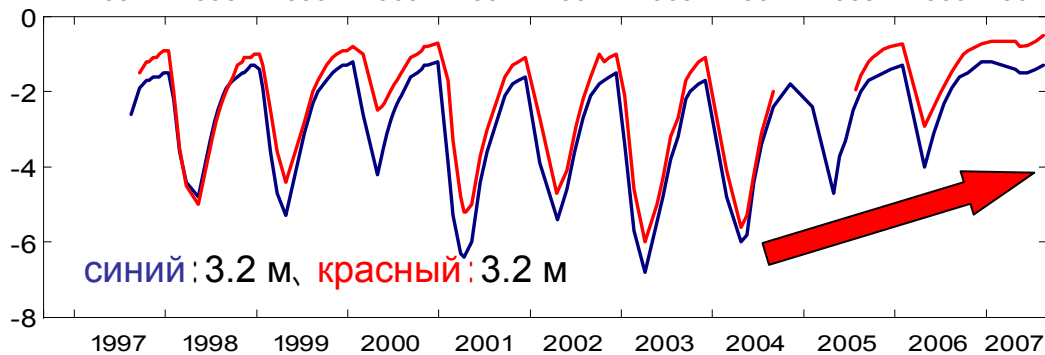
Температура почвы на нескольких площадках в Якутске, 1996-2007 гг.



Супесчаная почва под
лиственничником
ст.Спасская падь

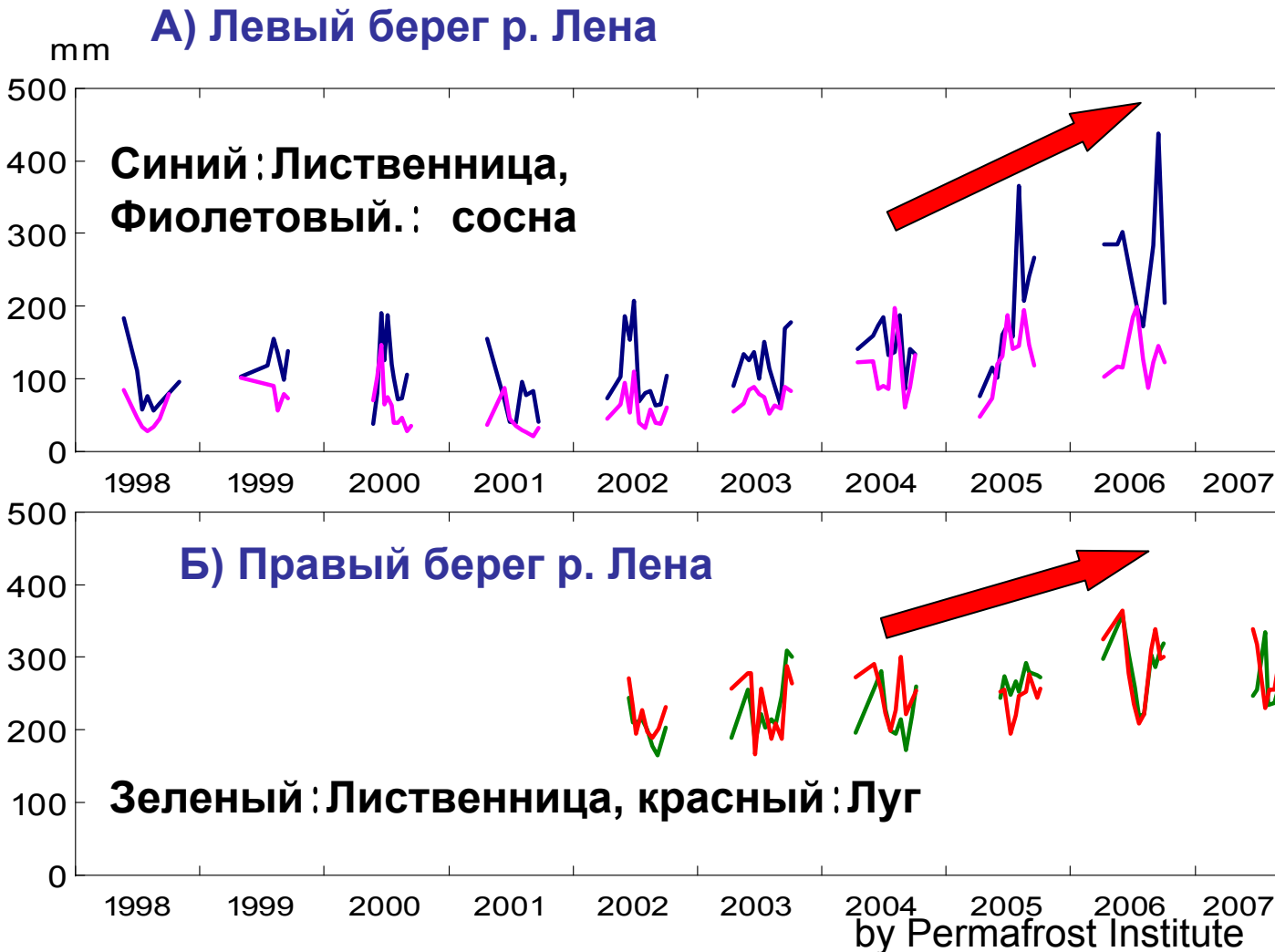


Песчаная почва под
сосняком
ст.Спасская падь

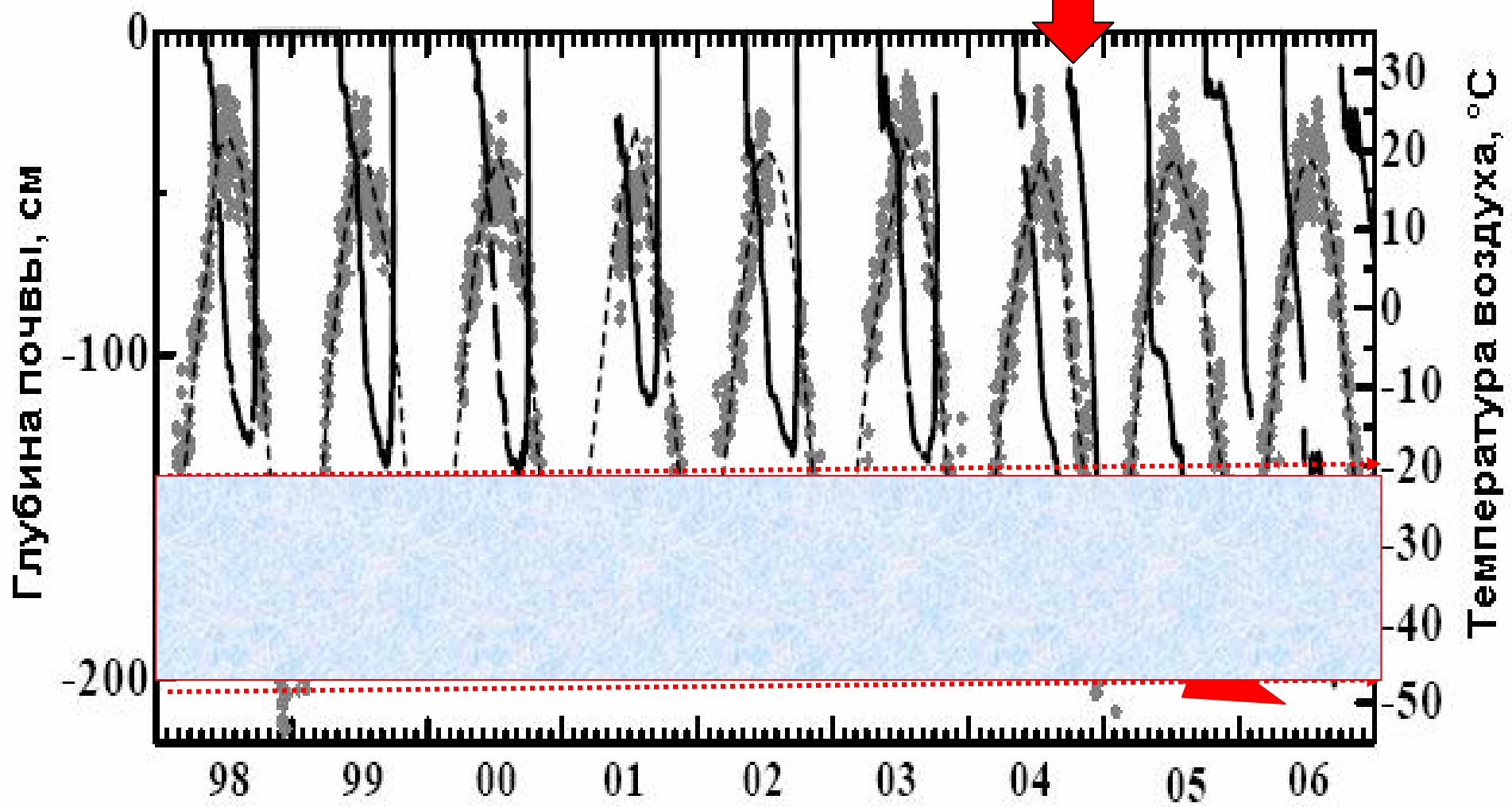


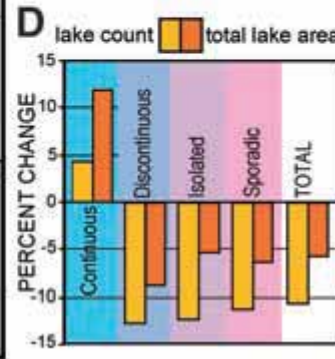
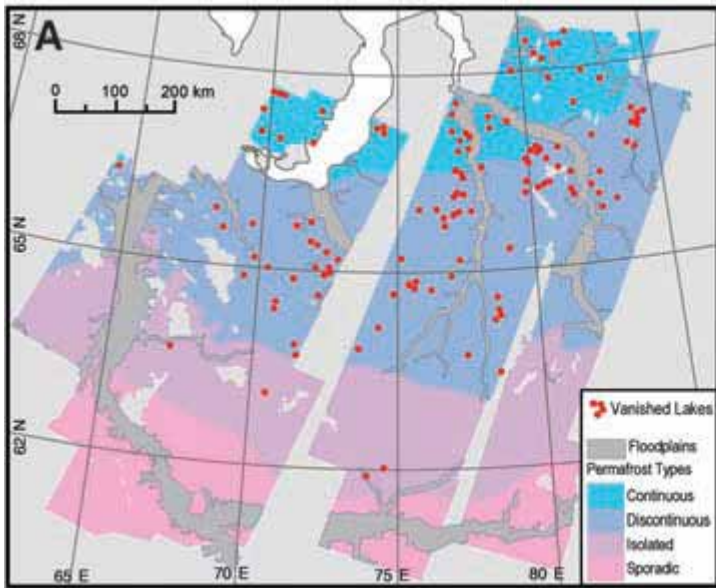
Лиственничник (синий)
Луг (красный)
ст. Нэлэгэр

Содержание почвенной влаги (глубина 0-1 м) на нескольких площадках в Якутске, 1998-2007 гг.



Температура

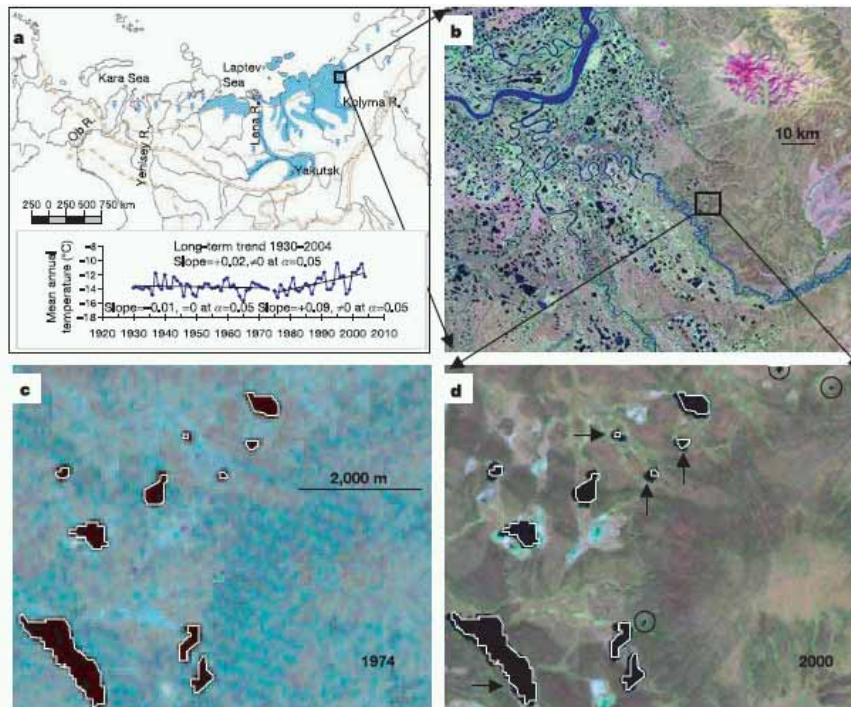




12 % increase of lake area (1973 to 1997) in continuous permafrost zone in western Siberia

due to permafrost thawing
may not hydrological effect__

by Smith et al. (2005; Science)



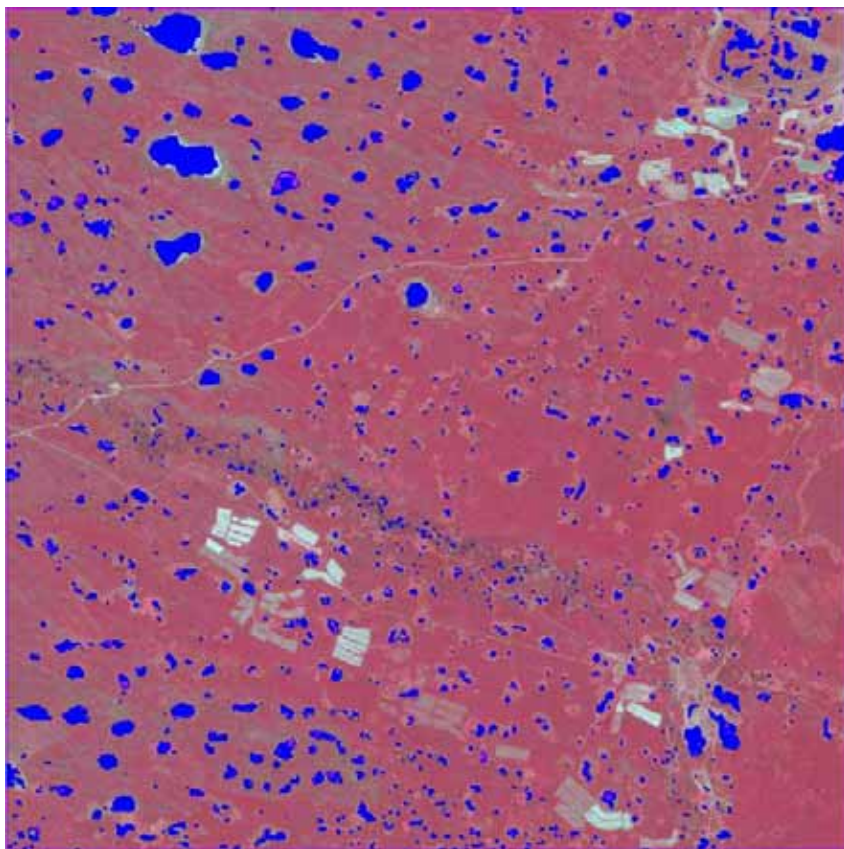
GIS lake change analysis from 1974 (c) to 2000 (d)

14.7% increase in lake area for a 12,000 km² territory along the Kolyma River near Cherskii, Russia

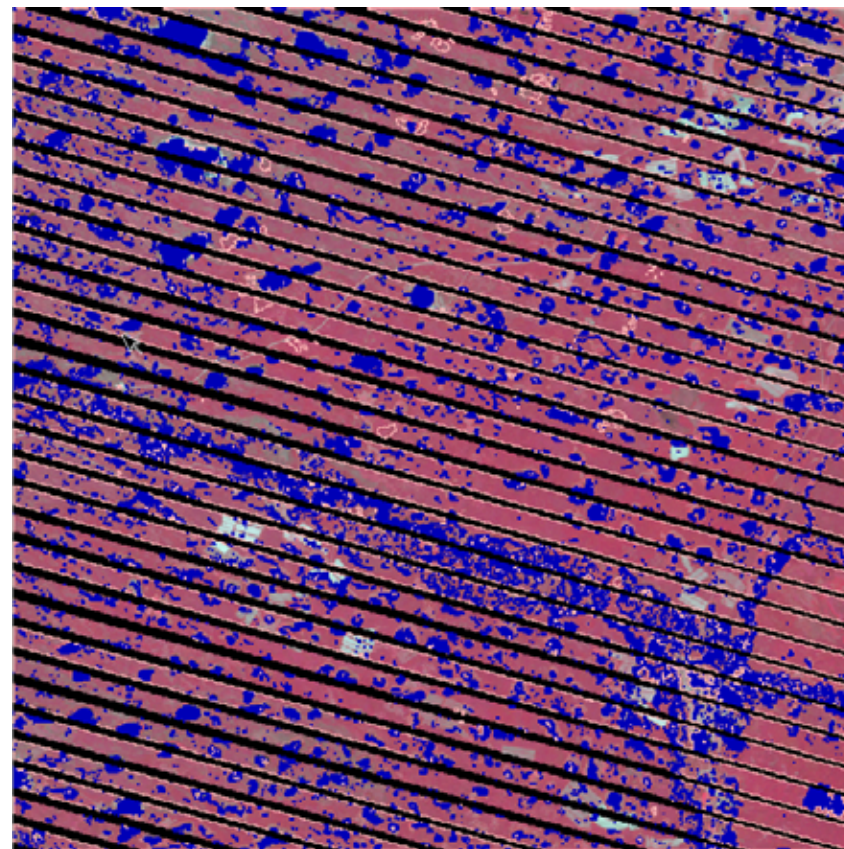
by Walter et al. (2006; Nature)

Распределение аласных экосистем в Центральной Якутии в разные годы

30 км



9 июня 2000 г.



15 мая 2007 г.

2000 2007 = **3.5 раза !!**

Landsat TM

Abnormal outflow in a tributary of Lena river at west side of Yakutsk (December 23, 2006)



Photo by Sergei Karsanaev, 2006

- 1. active layer remains unfrozen until mid-winter ?**
- 2. much soil moisture within the layer ?**

Discoloration of boreal larch forest near Yakutsk (August 7, 2007)

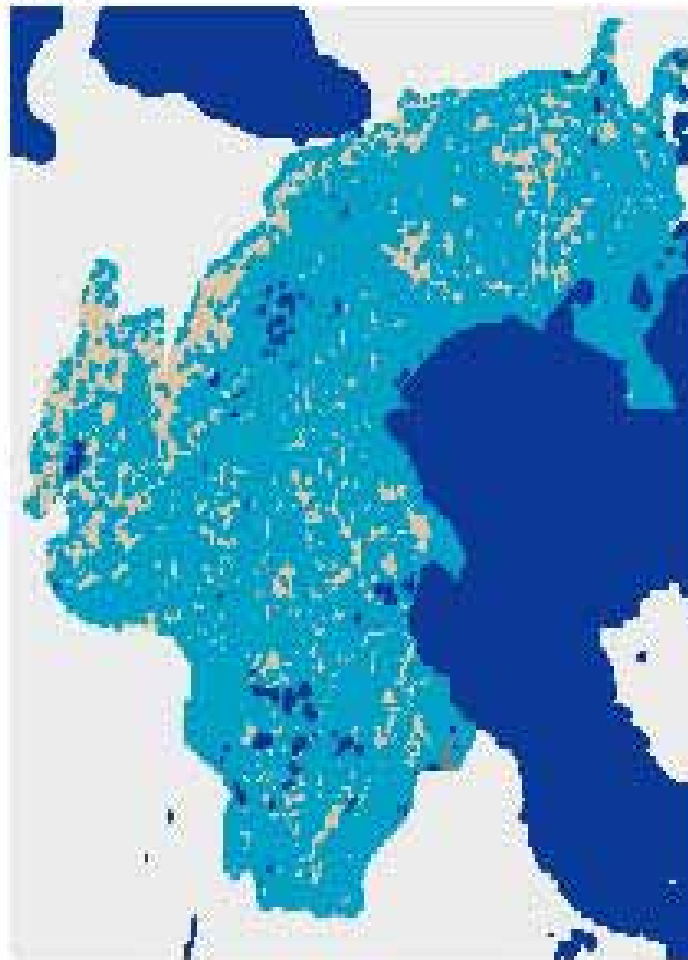


Изменение растительности за 1970-2000 гг.

1970

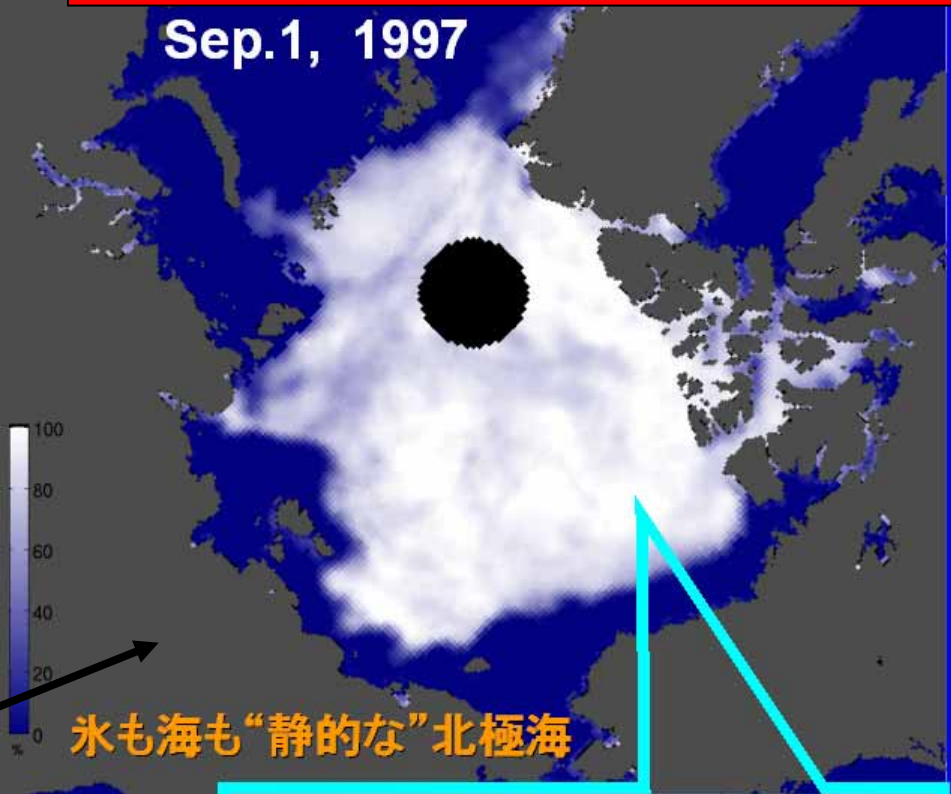


2000



Уменьшение льдов Арктического моря

Sep.1, 1997

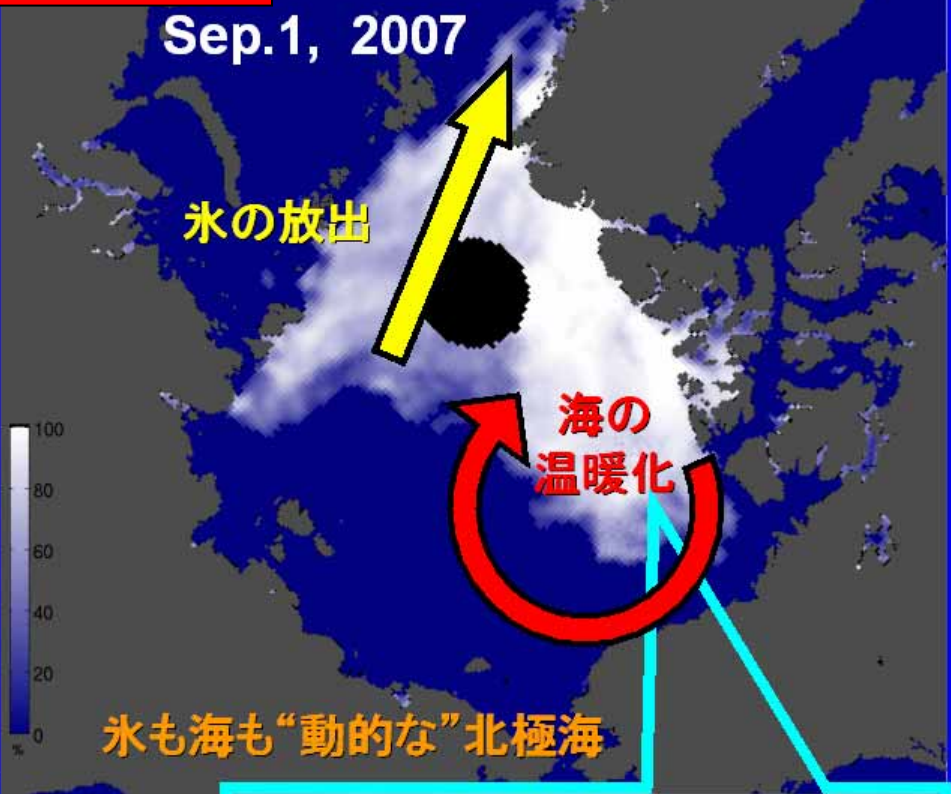


氷も海も“静的な”北極海



arctic@Jamstec /1997

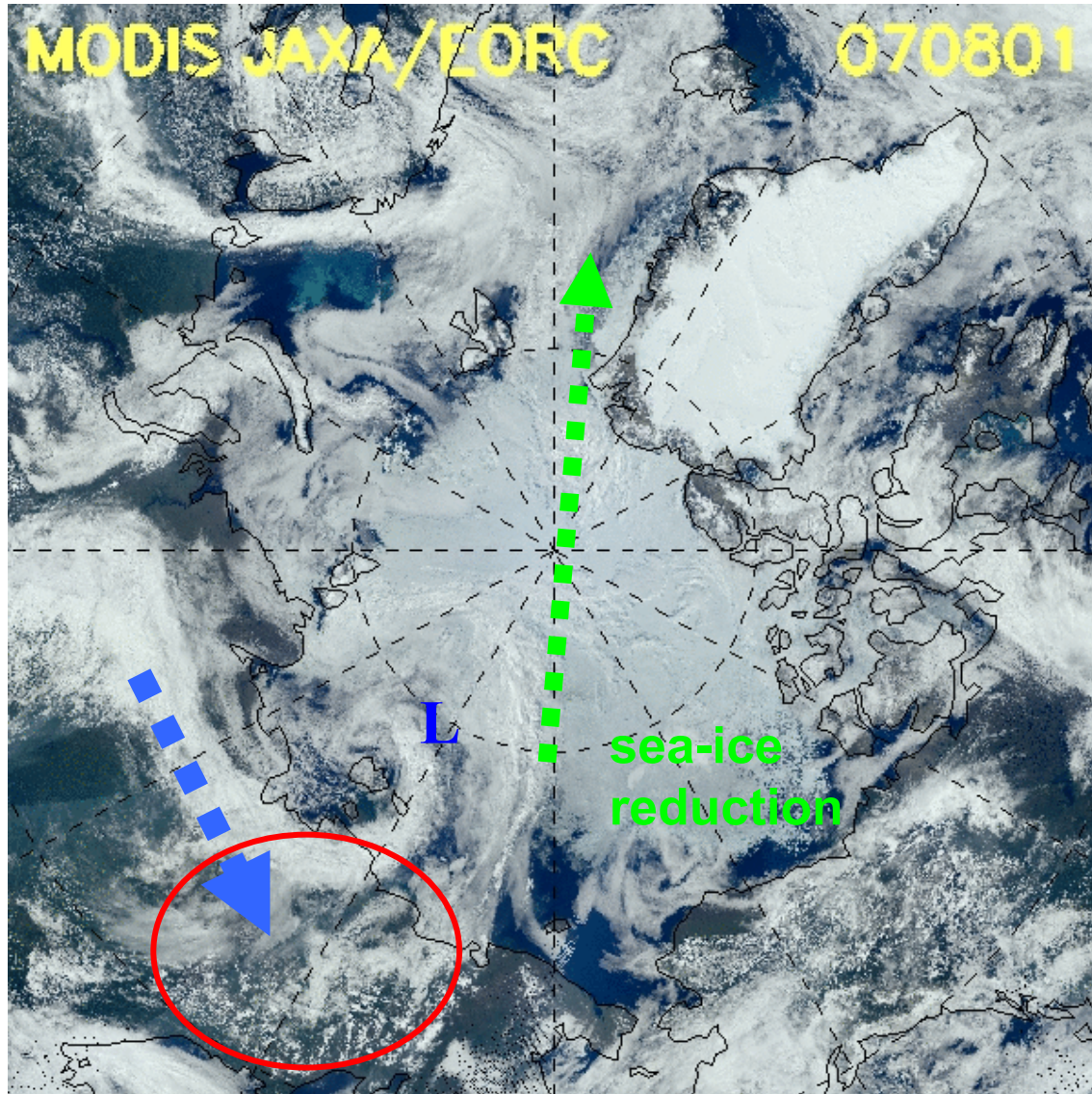
Sep.1, 2007



氷も海も“動的な”北極海



arctic@Jamstec /2007



Stationary cyclone
at Siberian side of
Arctic Ocean
enhances eastward
propagation of
storms to eastern
Siberia

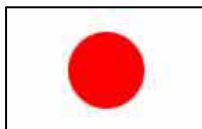
provided by Dr, Inoue (IORGC)

При возможном потеплении климата возможны следующие ответные реакции мерзлотных экосистем

- **потепление климата приведет к высвобождению громадного количества азота и углерода за счет деятельности почвенных микроорганизмов;**
- **оттаивание вечной мерзлоты приведет к широкому распространению педотурбаций и перемешиванию почвенной массы (Карпачевский, 1993);**
- **существует опасность того, что часть гумусовых и торфяных горизонтов, богатых органогенами могут оказаться погребенными в нижние части почвенного профиля - произойдет консервация органического вещества;**
- **вывод основных органогенов (азота, углерода) из общего круговорота.**

Доминирование лесных видов





Международные и межправительственные проекты по изменению климата со странами Азии

1. Российско-японский проект, 1991-1993 гг.

"Изучение влияния климатических изменений на криосферу и биосферу в сибирских регионах вечной мерзлоты"

2. Российско-японский проект, 1993-1995 гг.

"Изучение влияния глобального потепления на сибирские регионы вечной мерзлоты"

3. Международный проект GEWEX/GAME-Siberia, 1996-2001 гг.

"Изучение круговорота энергии и воды в мерзлотных экосистемах Сибири".

4. Российско-японский проект, 1999-2003 гг.

"Изучение нарушений вечной мерзлоты и эмиссия парниковых газов"

5. Российско-японский проект, 2000-2001 гг.

"Базисные исследования по изучению роли Японии в глобальном изменении лесной окружающей среды (на примере Сибири и Дальнего Востока)"

6. Российско-японский проект, 2002-2006 гг.

"Лесные исследования по охране мерзлотных экосистем от потепления климата"

7. Российско-японский проект, 2003-2017 гг.

"Параметризация Экосистемы в Арктической Зоне Восточной Сибири"

8. Российско-японский проект, 2003-2008 гг.

"Параметризация взаимоотношений между системой водного цикла и эколого-физиологическими свойствами растений в бореальных лесных территориях"

9. Российско-японский проект, 2003-2013 гг.

"Наземное наблюдение условий тепло-, влагообмена и растительности около г.Якутска «

10. Российско-японский проект, 2008-2012 гг.

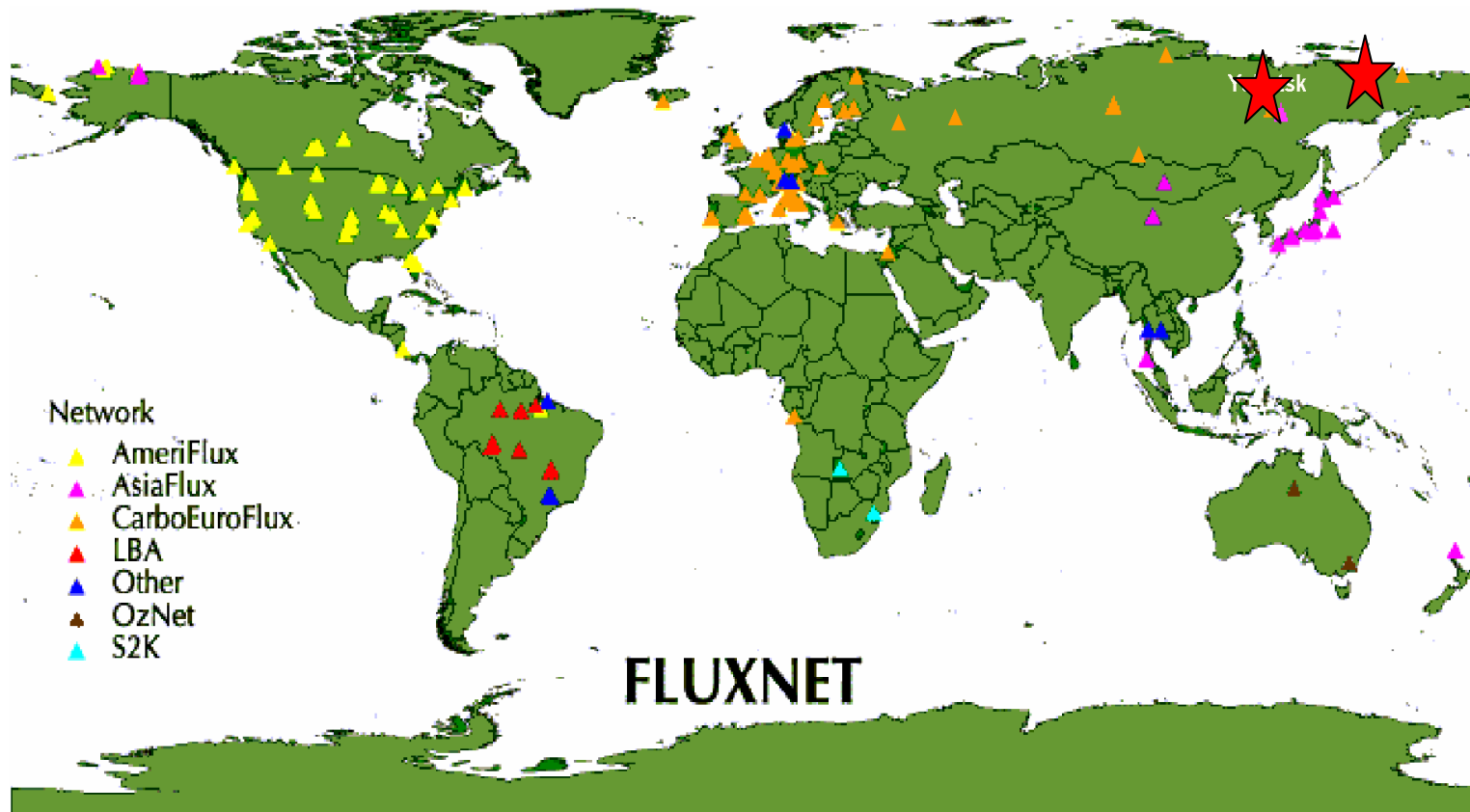
«Природно-человеческие аспекты в условиях потепления климата"



Международные проекты по изменению климата со странами Европы и США

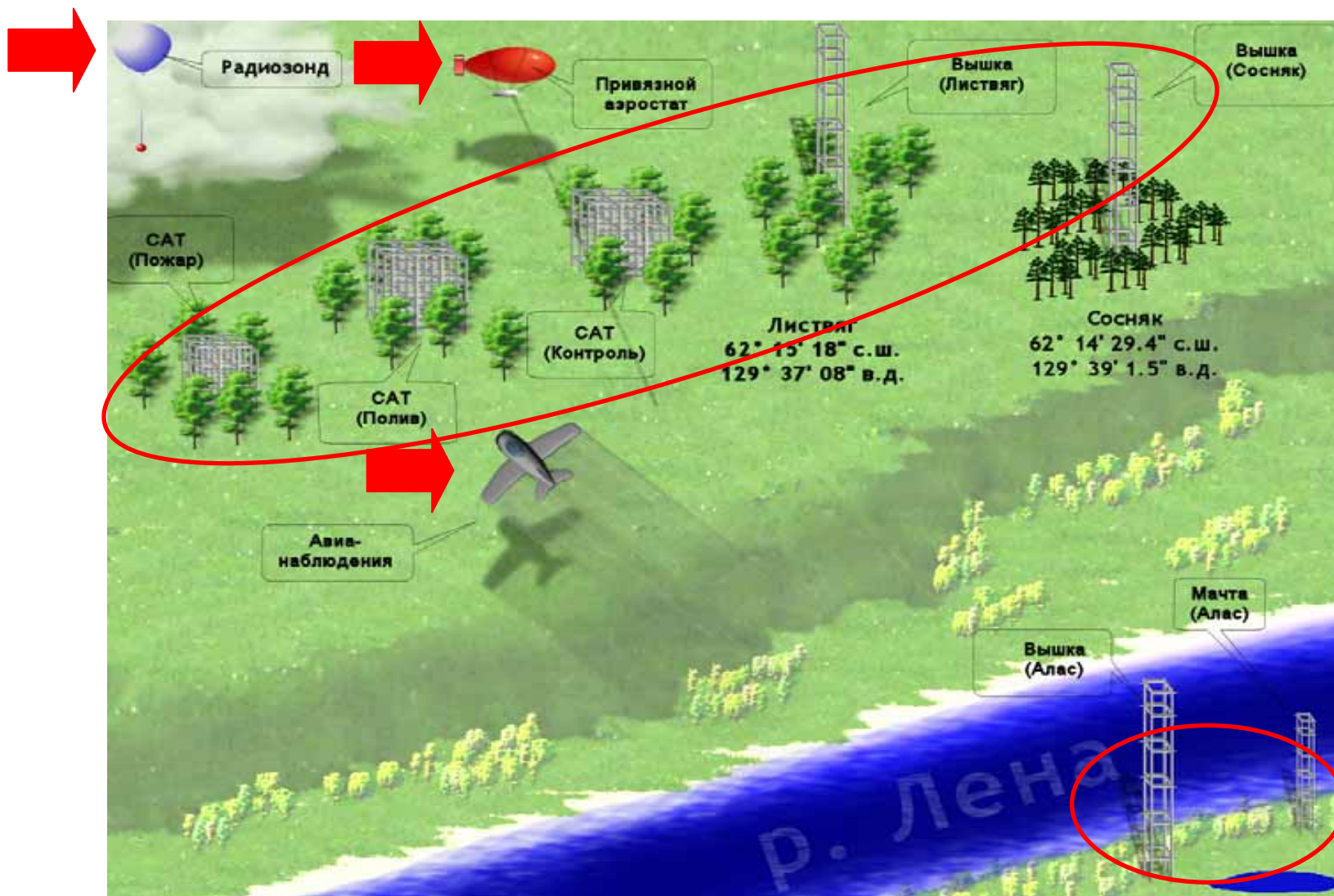
1. Международная программа IGBP-NES
2. Российско-голландский проект PIN- Matra, 2000-2004 гг.
"Оценка объема депонирования углерода дальневосточной сибирской лиственницей в многолетней мерзлоте"
3. Российско-голландский проект, 2002-2007 гг.
"Оценка потоков CO₂, воды и энергии в тундровой зоне"
4. Проект Европейского Союза, 2002-2005 гг.
"TCOS - Siberia" - изучение баланса углерода в Сибири
5. Всемирный проект по мониторингу активного слоя криолитозоны CALM, 2006-2016 гг.
6. Циркумполярный проект, 2007-2008 гг.
«Консорциум для координации наблюдения и мониторинга Арктики в целях оценки и исследования» (№ 305)
7. Российско-британский проект, 2008-2010 гг.
«Изучение дыхания листвы в Восточной Сибири»
8. Российско-шведский проект, 2008-2010 гг.
«Изучение нетронутой атмосферы».
9. Российско-американский проект
«Социальные аспекты коренных народов Якутии в условиях глобального изменения климата», 2008-2010

Глобальная и континентальная сеть наблюдений FLUXNETWORK за циркуляционными потоками энергии, влаги и углекислого газа

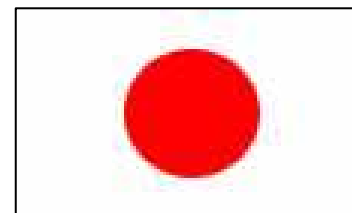


- В России в целом и в Якутии в частности количество пунктов наблюдения явно недостаточно
- Для Якутии жизненно необходимым является создание 4-6-ти станций, оборудованных подобно стационару «Спасская падь»

Региональный уровень исследований потоков тепла, влаги и углекислого газа в лесной экосистеме, ст. Спасская падь ИБПК СО РАН, Центральная Якутия

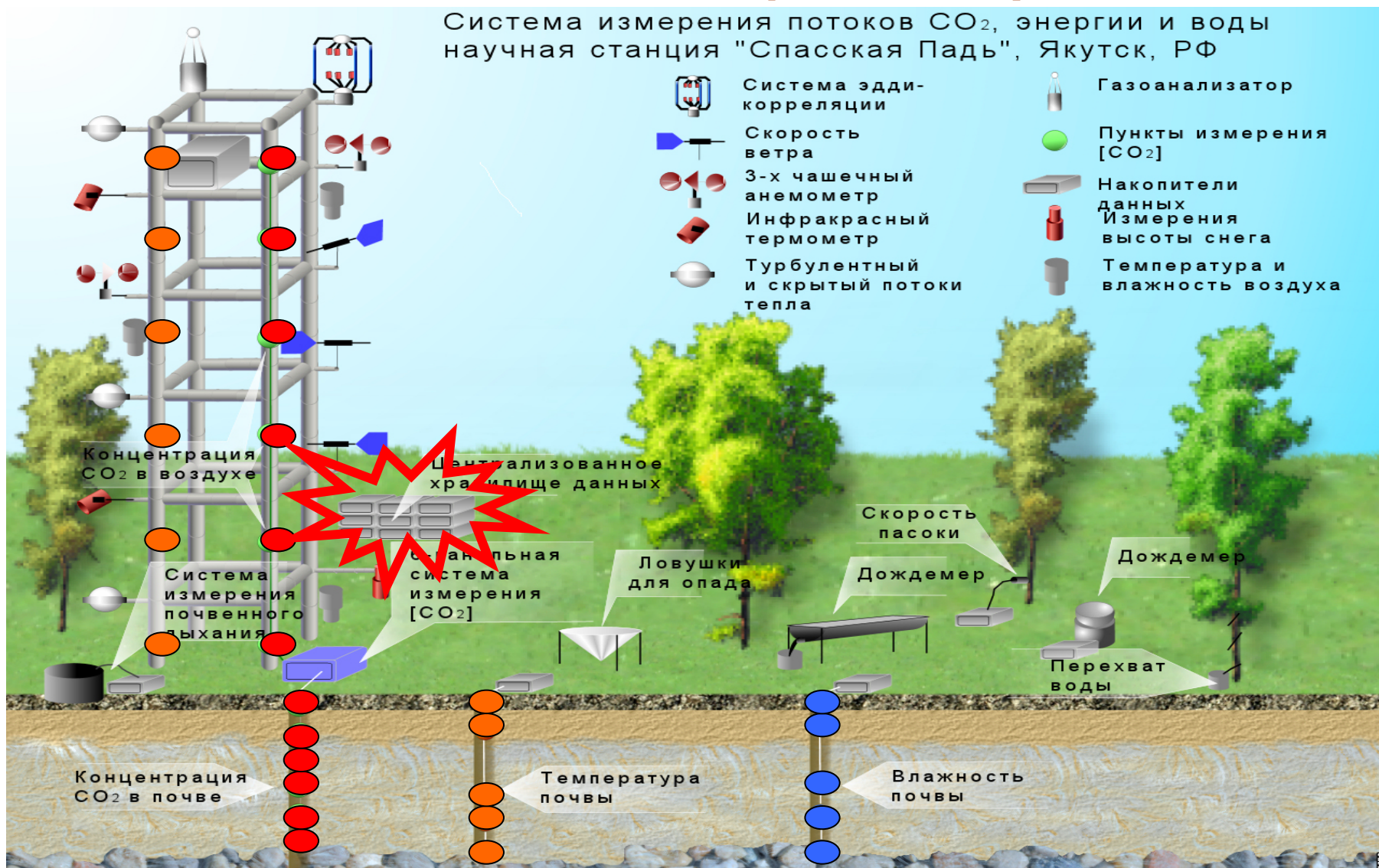


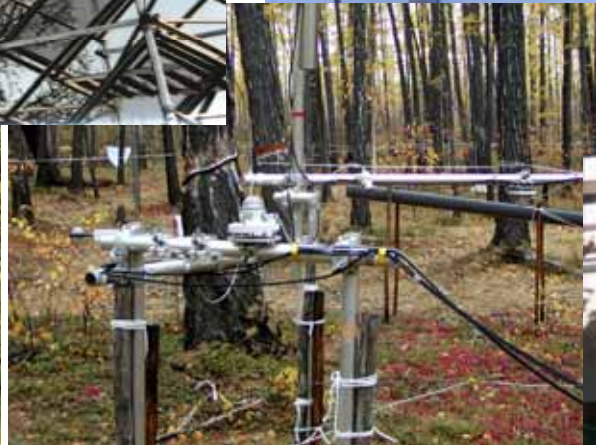
Лесная научная станция «Спасская падь» ИБПК СО РАН



Локальный уровень исследований потоков тепла, влаги и углекислого газа в лесной экосистеме. ст.Спасская падь, Центральная Якутия

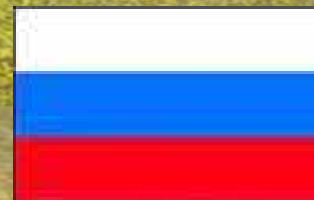
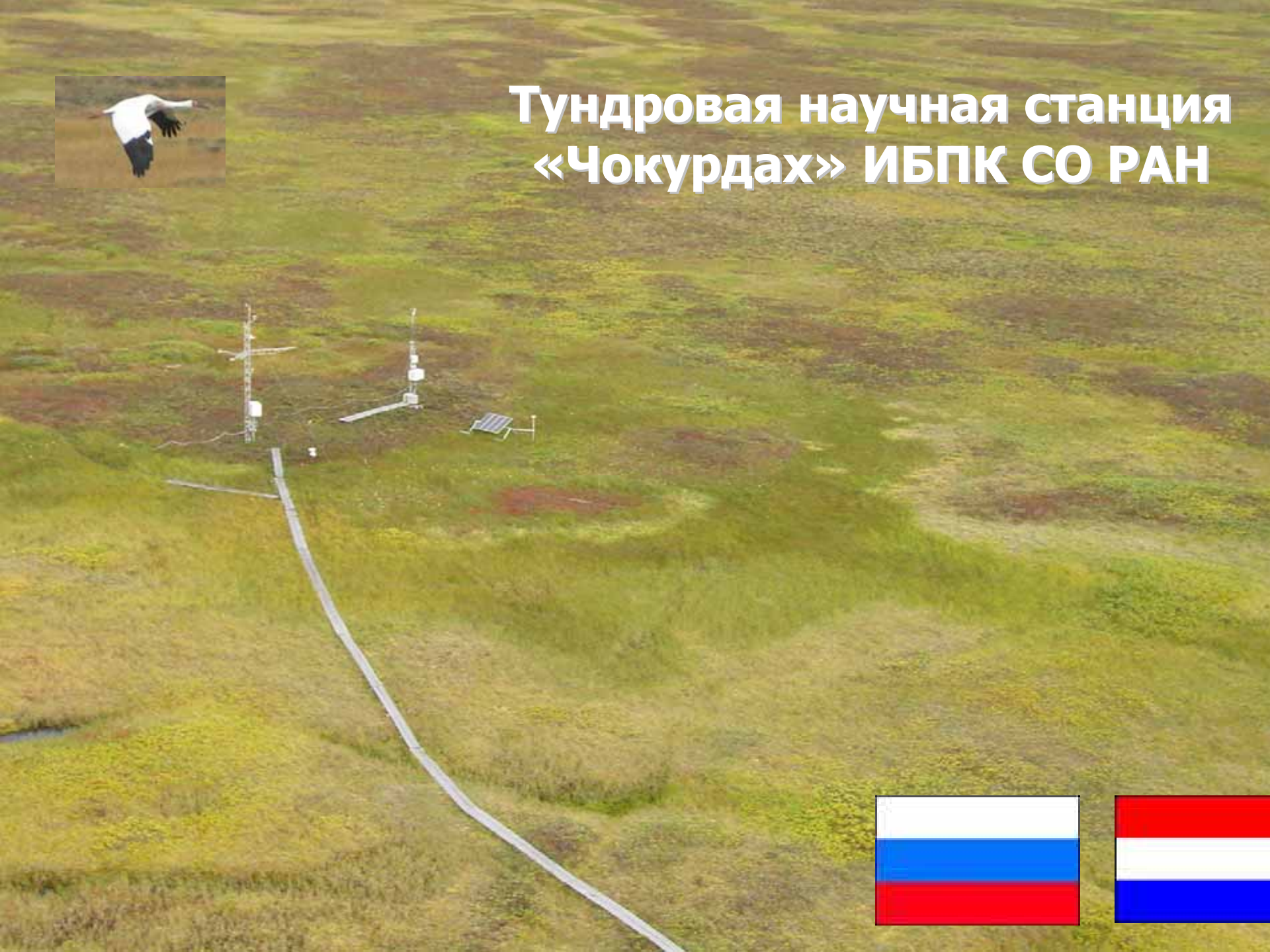
Система измерения потоков CO_2 , энергии и воды
научная станция "Спасская Падь", Якутск, РФ







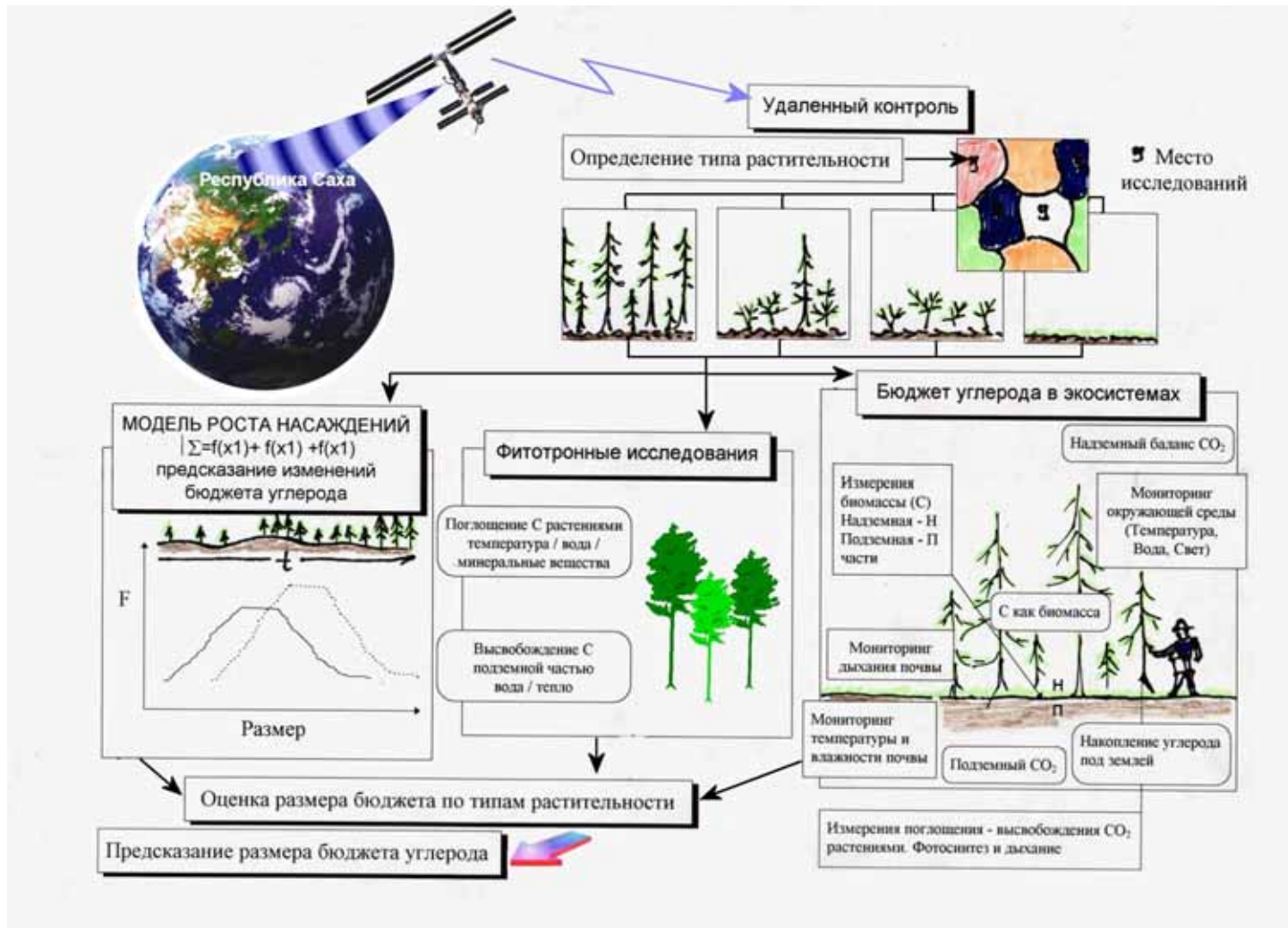
Тундровая научная станция «Чокурдах» ИБПК СО РАН



**Локальный уровень исследований
потоков тепла, влаги и углекислого газа в
тундровой экосистеме. Арктическая Якутия.
Чокурдах, 70°49'30" с.ш., 147°29'21" в.д.**

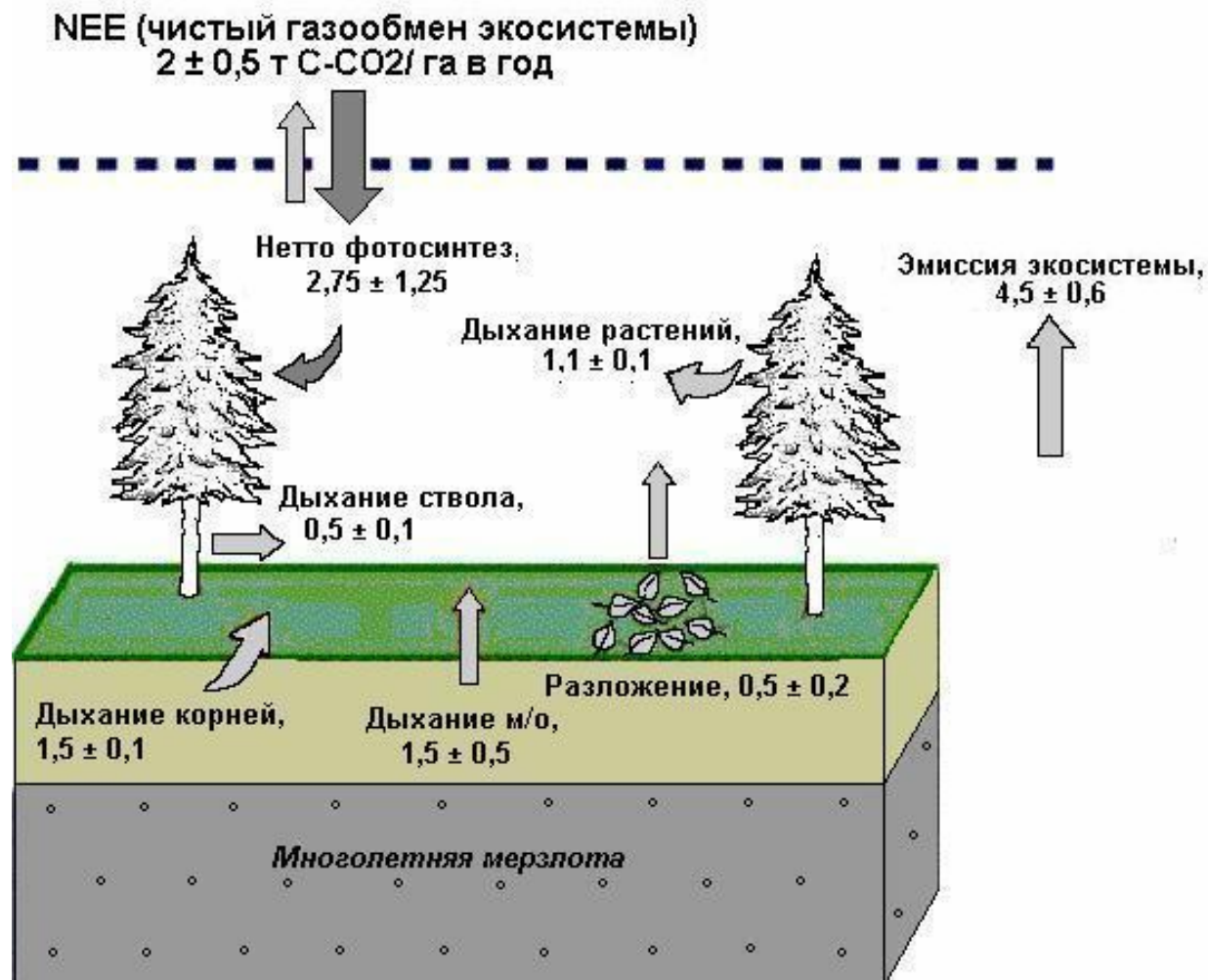


Схема исследований по циклу углерода и воды



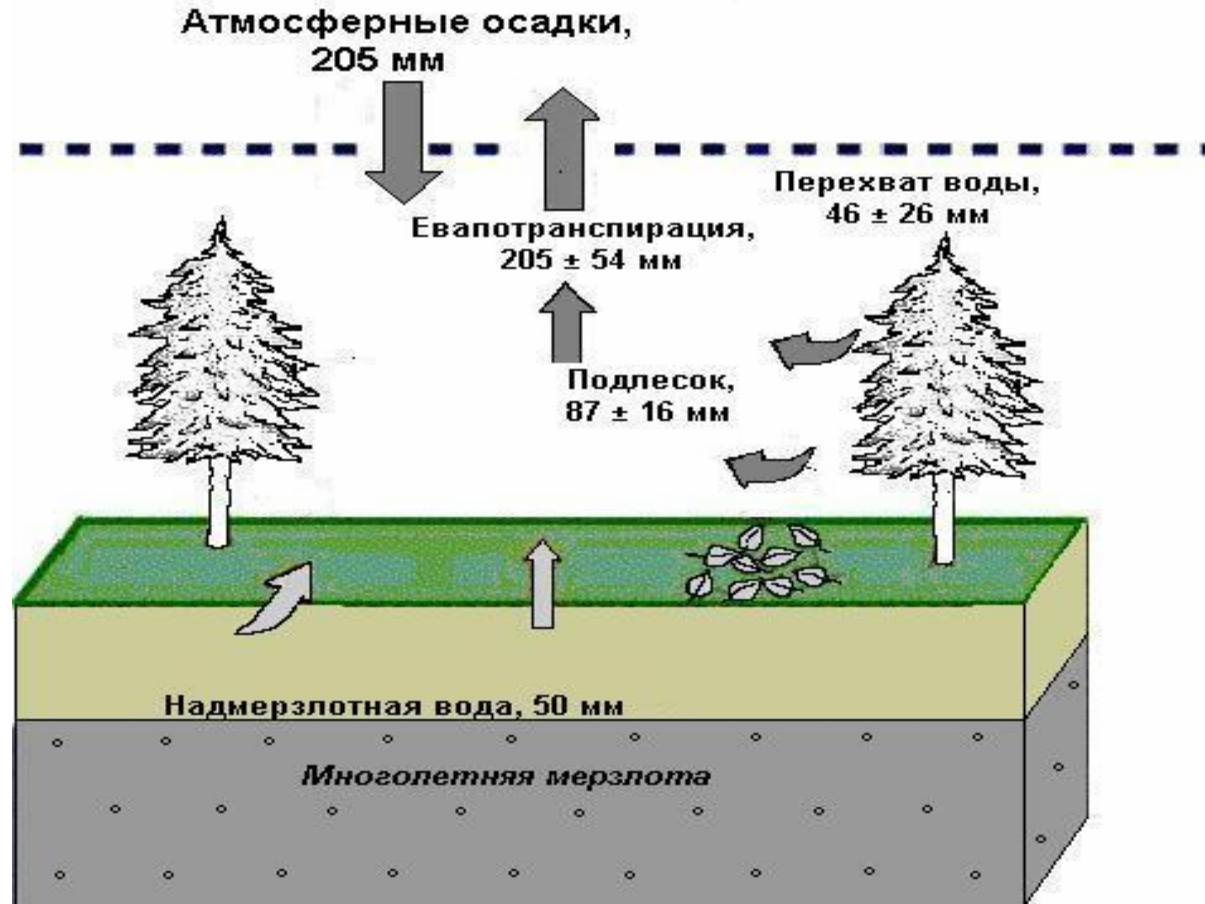
Компоненты углекислотного газообмена экосистемы, $t C ga^{-1} год^{-1}$

10

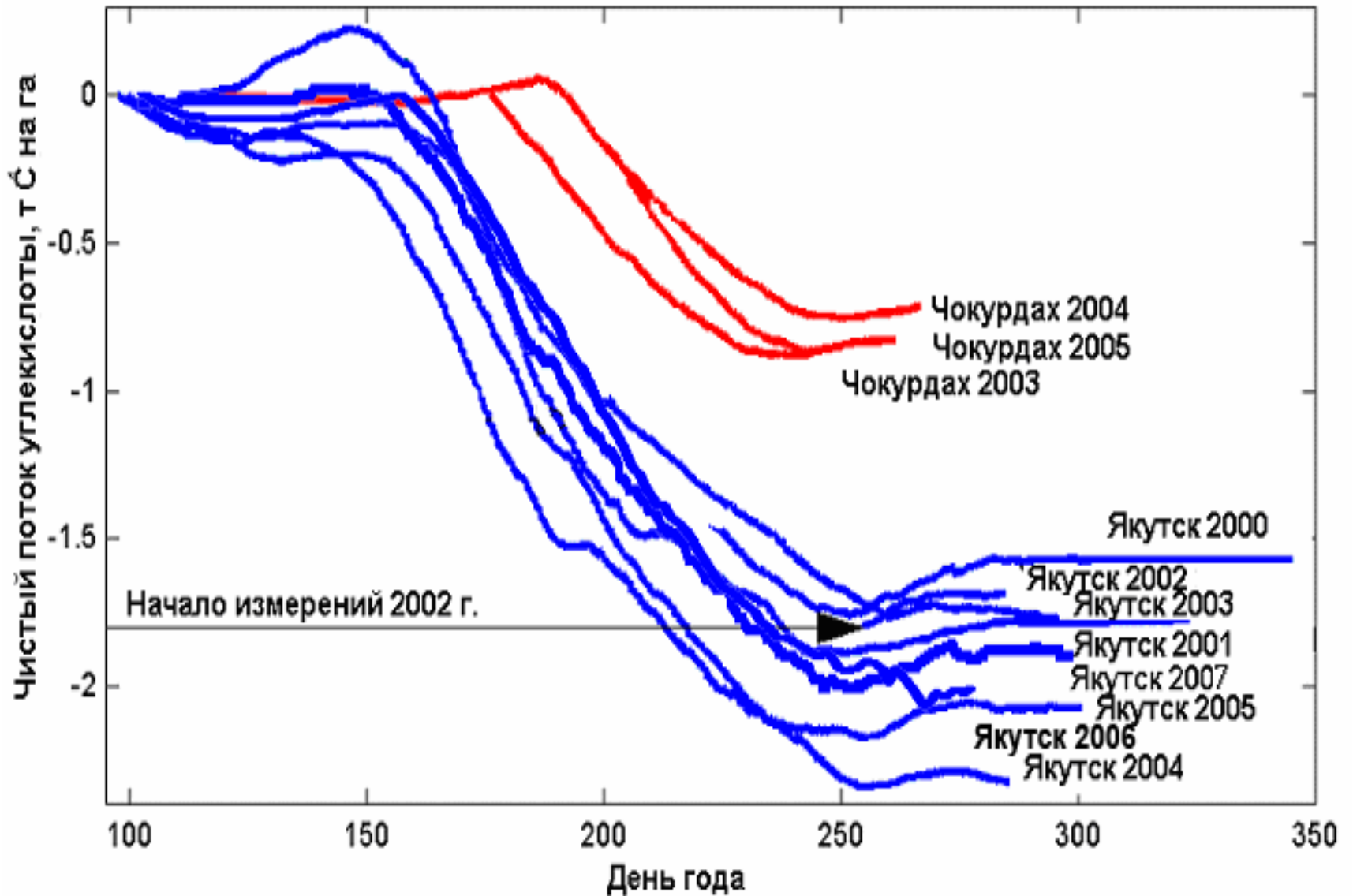


Maximov, 2003

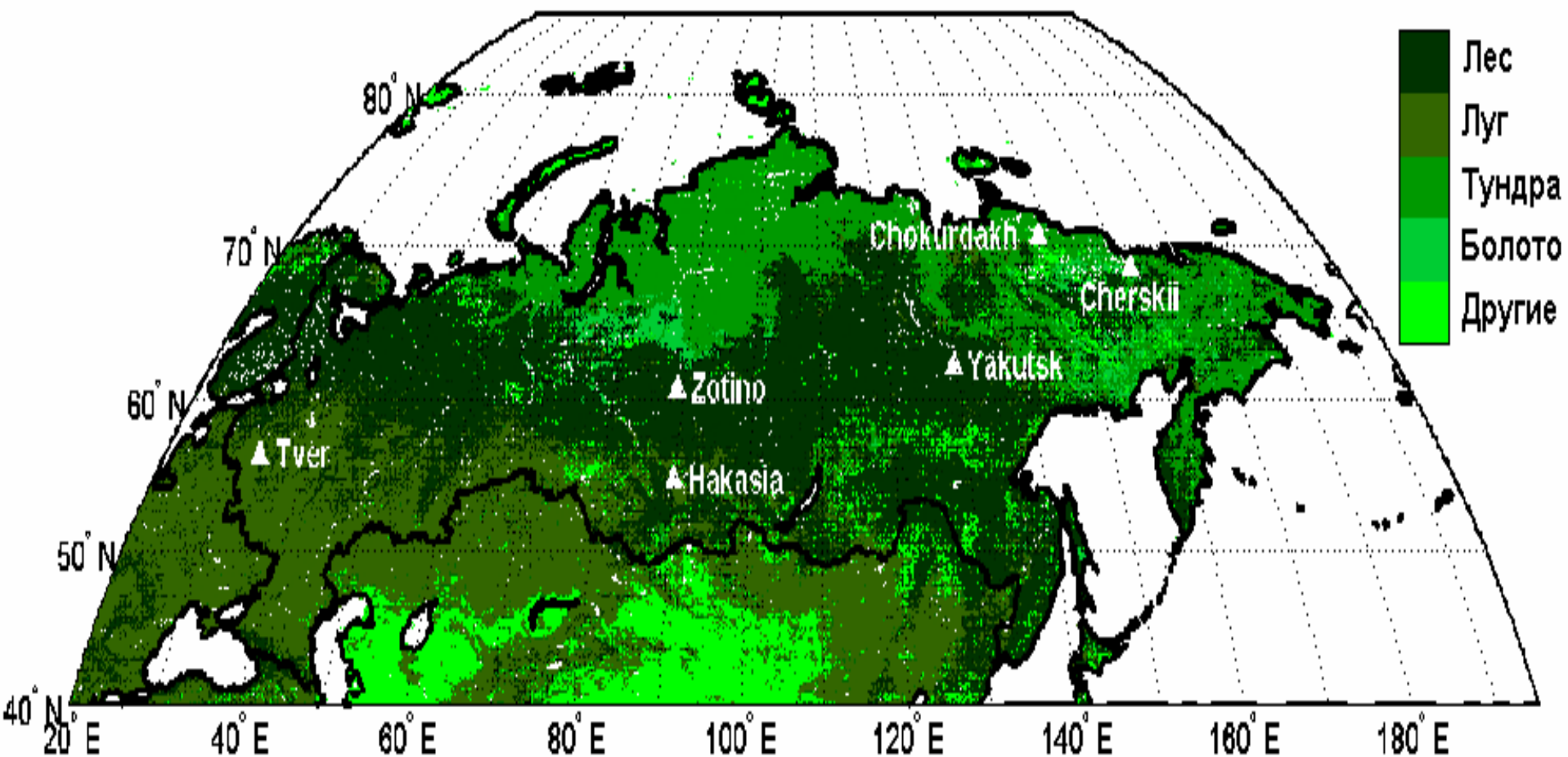
Годовой бюджет воды мерзлотных лесных экосистем, *мм в год*



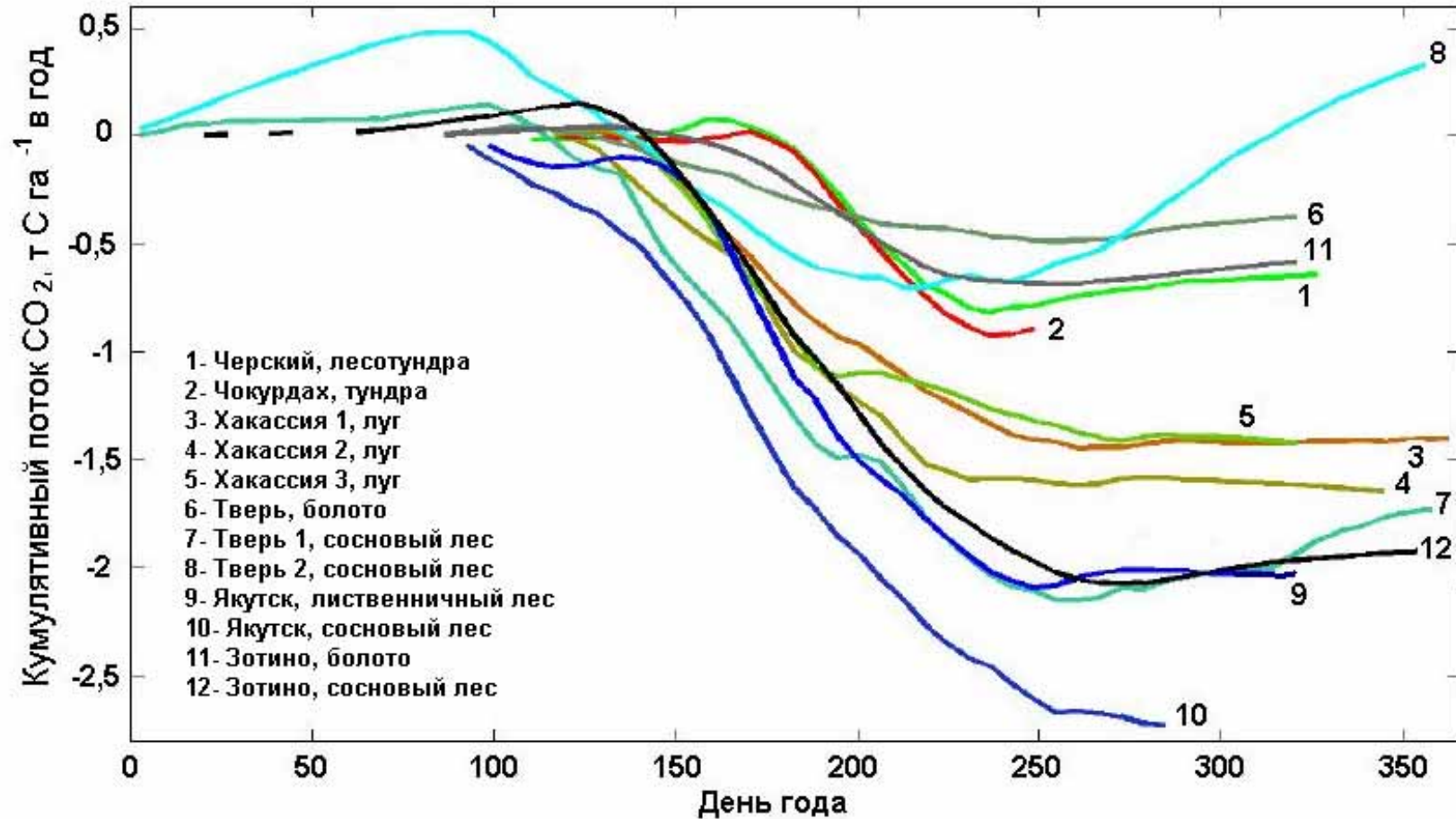
Сравнение углеродного сиквестирования лесных и тундровых экосистем



Земельная карта Российской Федерации и исследуемых биоклиматических зон



Накапливаемый поток углерода в репрезентативных природных зонах России



**Годовой поток углерода Российской Федерации по 4
репрезентативным биомам
47 годовых данных по 12 научным станциям
проектов TCOS-Siberia (ЕвроСоюз-10) и JST CREST (Япония)**

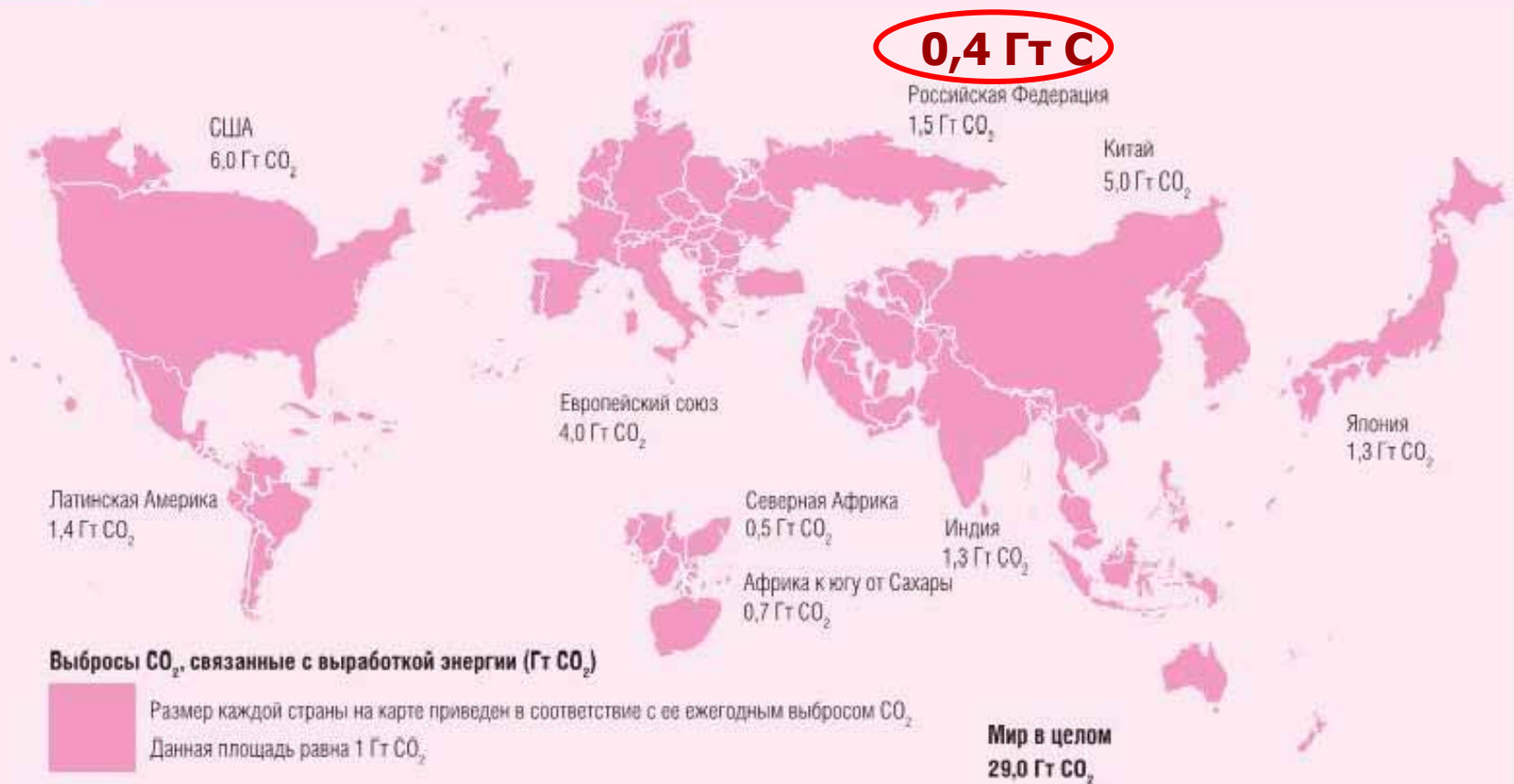
| Биома | Площадь, 10^{12} м^2 | Годовой поток, $\text{г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ | Годовой поток территории, $10^{12} \text{ г с год}^{-1}$ |
|-------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Заболоченные территории | 4,4 | -54±66 | -238±338 |
| Пастбища, луга | 2,7 | -115±66 | -311±198 |
| Леса России | 8,4 | -144±66 | -1210±375 |
| Другие | 1,6 | -104±66 | -166±114 |
| Итого | 17,1 | | 1925±256 |

При пересчете составляет 1,9 млрд т С в год или 24 % от глобальной эмиссии углерода (8 млрд. т С в год) за счет сжигания горючего материала (6 млрд.т), рубок леса (2 млрд.т), лесных пожаров (0,19 млрд.т) и транспорта рек (0,020 млрд.т)

Карта глобального распределения выбросов CO₂

Карта 1.1

Карта глобального распределения выбросов CO₂

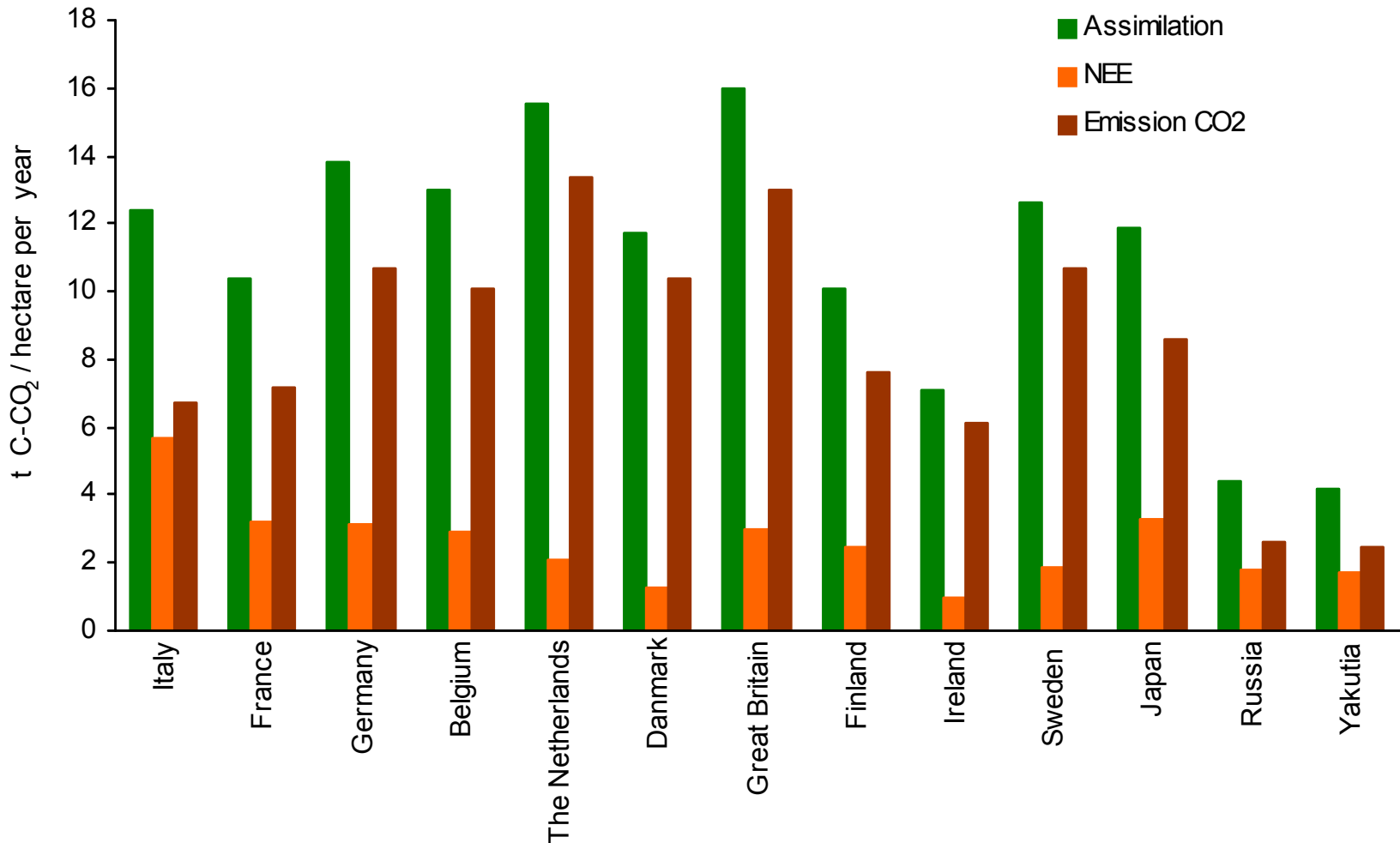


Примечание: Указанные границы, наименования и обозначения не являются официально одобренными и принятыми ООН. Пунктирная линия приблизительно отображает линии государственной границы в Джамму и Кашмире, установленную Индией и Пакистаном. Окончательный статус Джамму и Кашмира сторонами не определен.

Источник: Mapping Worlds 2007, на основе данных CDIAC.

М.в. CO₂ > C в 3,7 раза
Гт = млрд. тонн

Годовой баланс углерода стран Азии и Европы



Углеродный пул Якутии, *млрд. тонн углерода*

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Растительный углерод | 2.2 -4.1 |
| Почвенный углерод | 17.1 |
| Годовое депонирование | 0, 28 |

В том числе:

лесные экосистемы

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Площадь | 25.5 млн. га |
| Растительный углерод | 2.2-4.5 |
| Почвенный углерод | 11.2 |
| Годовое депонирование | 0,25 |

тундровые экосистемы

| | |
|-----------------------|------------------|
| Площадь | 37 млн.га |
| Растительный углерод | 0.053 |
| Почвенный углерод | 5.9 |
| Годовое депонирование | 0, 03 |

Годовой бюджет углерода лиственничных лесов Сибири, млрд т С в год

- Ассимиляция

| | | |
|--------------------|---------|------|
| Сибирь* | 1.3 | 100% |
| Лиственница Сибири | 0.4-1.0 | 54 |
| Лиственница Якутии | 0.2-0.4 | 23 |

- Эмиссия

| | | |
|--------------------|---------|------|
| Российские почвы** | 2.6-3.0 | 100% |
| Лиственница Сибири | 0.8-0.9 | 27 |
| Лиственница Якутии | 0.4 | 12 |

- Годовой чистый газообмен NEE Flux

| | | |
|--------------------|------|------|
| Россия** | 0.82 | 100% |
| Лиственница Сибири | 0.45 | 55 |
| Лиственница Якутии | 0.18 | 22 |

- Предложения РФ в Конвенцию ООН по изменению климата 1995 года

0.16

<http://www.unfccc.de>

Обозначения. * - Schimel et al., 2001; Goodale et al., 2002.

** - Kudeyarov, 2003.

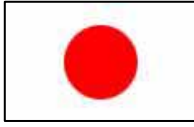
без обозначения- данные наших исследований

- **Многолетние наблюдения на станции служат базой при составлении программ для оценки и верификации региональных балансов углекислого газа, а также для сравнительного определения вклада конкретных экосистем и антропогенных источников в эмиссию CO₂**
- **В целом проблема определения естественных причин изменчивости парниковых газов от антропогенных не может быть решена усилиями одной страны, какой бы развитой она не была: нужны современные приборы, длительные наблюдения в разных природно-климатических зонах, квалифицированные специалисты, международное сотрудничество**

- **Результаты работ использованы Правительством Японии и Голландии в национальных сообщениях по изменению климата, структурами Министерства природных ресурсов России при планировании природоохранной деятельности в зоне многолетней мерзлоты. Результаты международных исследований привлекаются в качестве фактического материала для оценки углеродного пула России в рамках Киотского Протокола ООН**
- **Сделана попытка все эти вопросы, имеющие научную и практическую новизну, рассмотреть в их взаимосвязи, основываясь на ведущей роли углеродного цикла в формировании продуктивности и экологической стабильности биоты**

- **Оценка величины поглощения углерода мерзлотными экосистемами имеет прямой экономический выход в рамках ратификации Россией Киотского Протокола ООН по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Этот показатель может использоваться для подсчета индустриального выброса отдельно взятой страны. Любая добавочная верифицированная поглотительная емкость может быть продана в рамках торговли эмиссией. В конечном счете, легкоранимые мерзлотные экосистемы Якутии должны быть выведены в устойчивое русло развития в соответствии с функционированием социальной, экономической и экологической систем.**

- По результатам многолетних международных исследований по глобальному изменению климата в Якутии проведено свыше **20 международных конференций, симпозиумов и совещаний**, опубликовано в различных международных изданиях свыше **200 научных работ**, в том числе в **22 тематических сборниках**



**Спасибо
за внимание!**

