



УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

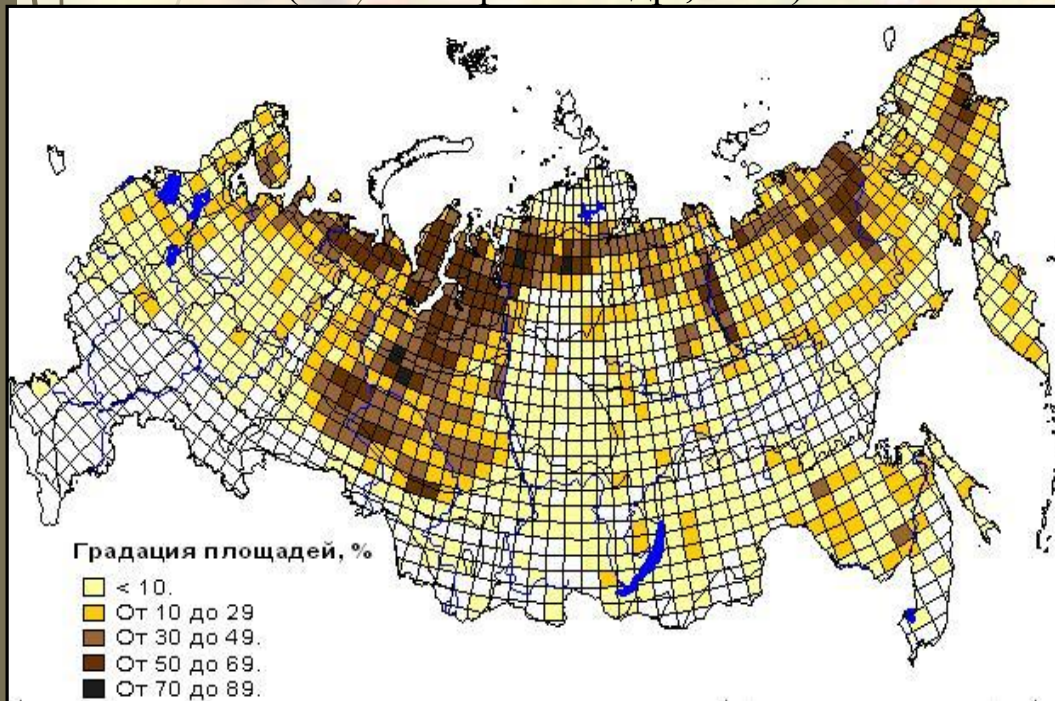
Головацкая Евгения Александровна

*Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН*

Болото — участок ландшафта, характеризующийся избыточным увлажнением, влаголюбивым живым напочвенным покровом.

Для болот характерно отложение на поверхности почвы не полностью разложившегося органического вещества, превращающегося в дальнейшем в торф.

Болота Российской Федерации (с глубиной торфа более 30 см) в % от площади территории (из: Вомперский и др., 1999)

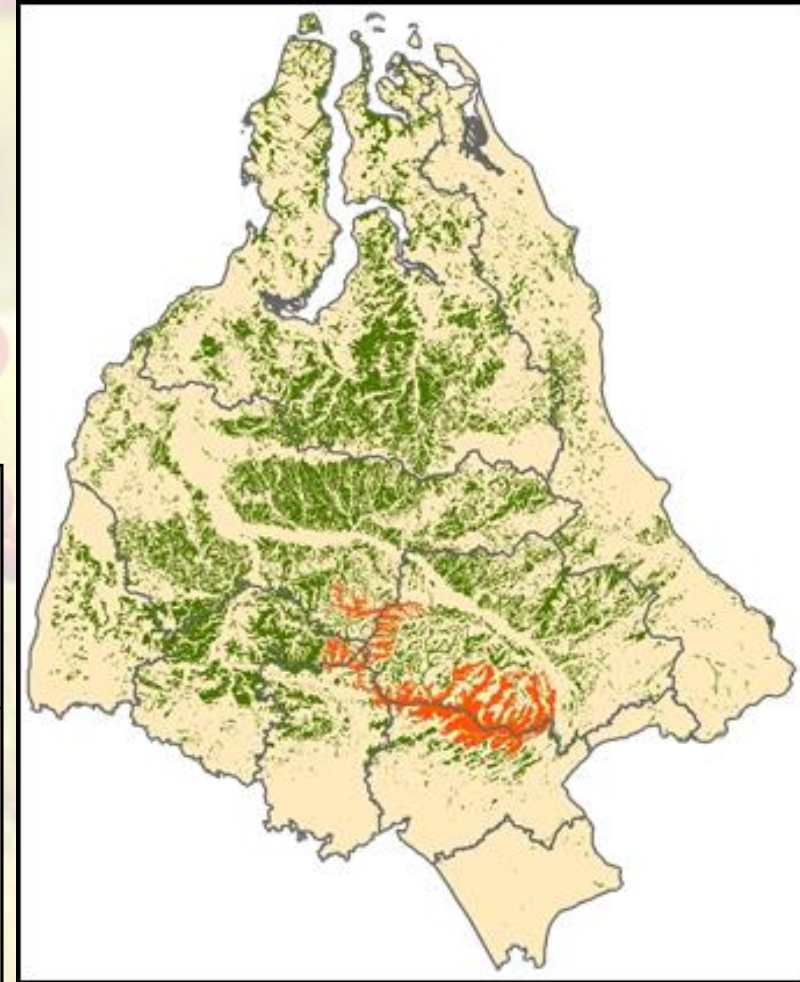


Болота Западной Сибири

Общая площадь - 592 440 км²

Общие запасы торфа - 148 Гт

Запасы углерода - 70 Гт С



Sheng, Y., L. C. Smith, G. M. MacDonald, K. V. Kremenetski, K. E. Frey, A.A. Velichko, M. Lee, D. W. Beilman, and P. Dubinin (2004), A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool // Global Biogeochem. Cycles, 18, GB3004, doi:10.1029/2003GB002190.

Координаты $55^{\circ}35'$ и $58^{\circ}40'$ СШ, $74^{\circ}30'$ и $83^{\circ}30'$ ВД

Протяженность болота с запада на восток около 550 км, с севера на юг в осевой части в среднем 50-80 км, с учетом отрогов - до 270 км.

Площадь БВБ > 53 тыс. км²

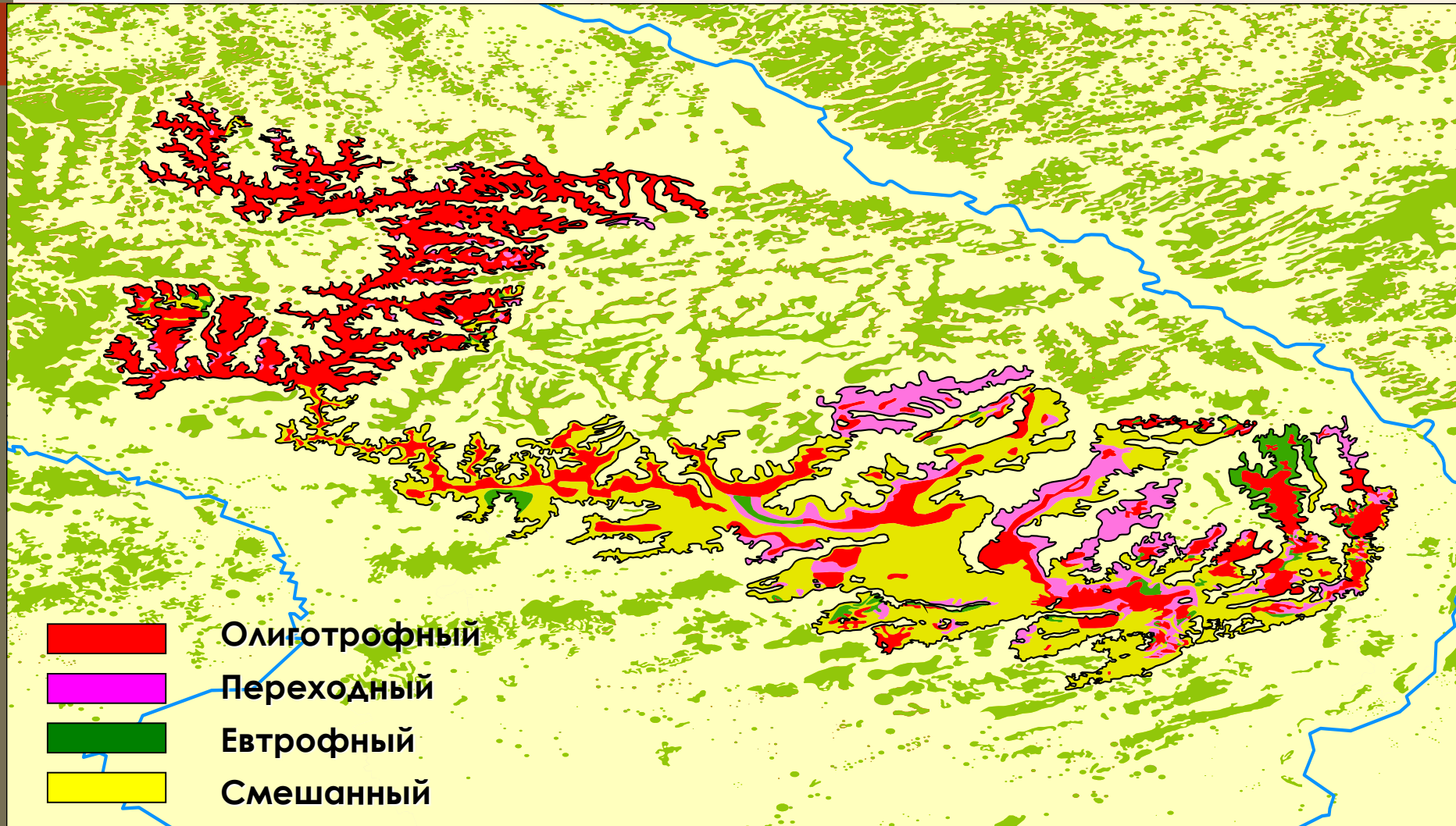
Абсолютные отметки поверхности занятых болотами водораздельных пространств 130-150 м.

Возраст - 10 000 лет


Средняя глубина - 2.4 м, Максимальная глубина – 7 м

Запасы воды - 400 км³

Типы торфяной залежи БВБ



Верховые болота - 32%,
Открытые переходные и низинные болота - 35%
Лесные болота - 33%.



БВБ представляет собой целостную, генетически и экологически взаимосвязанную систему достаточных размеров, которая:

- ▶ отражает процессы развития болотных экосистем от начала голоцена до настоящего времени;
- ▶ включает местообитания типичной флоры и фауны региона, редких и исчезающих видов животных и растений, а также ключевые местообитания мигрирующих и кочующих видов животных;
- ▶ является «хранителем» ценной палеогеографической и палеоэкологической информации;

Отсутствие населенных пунктов и трудная доступность этой территории обеспечивают высокий уровень сохранности экосистем и их биологического разнообразия.

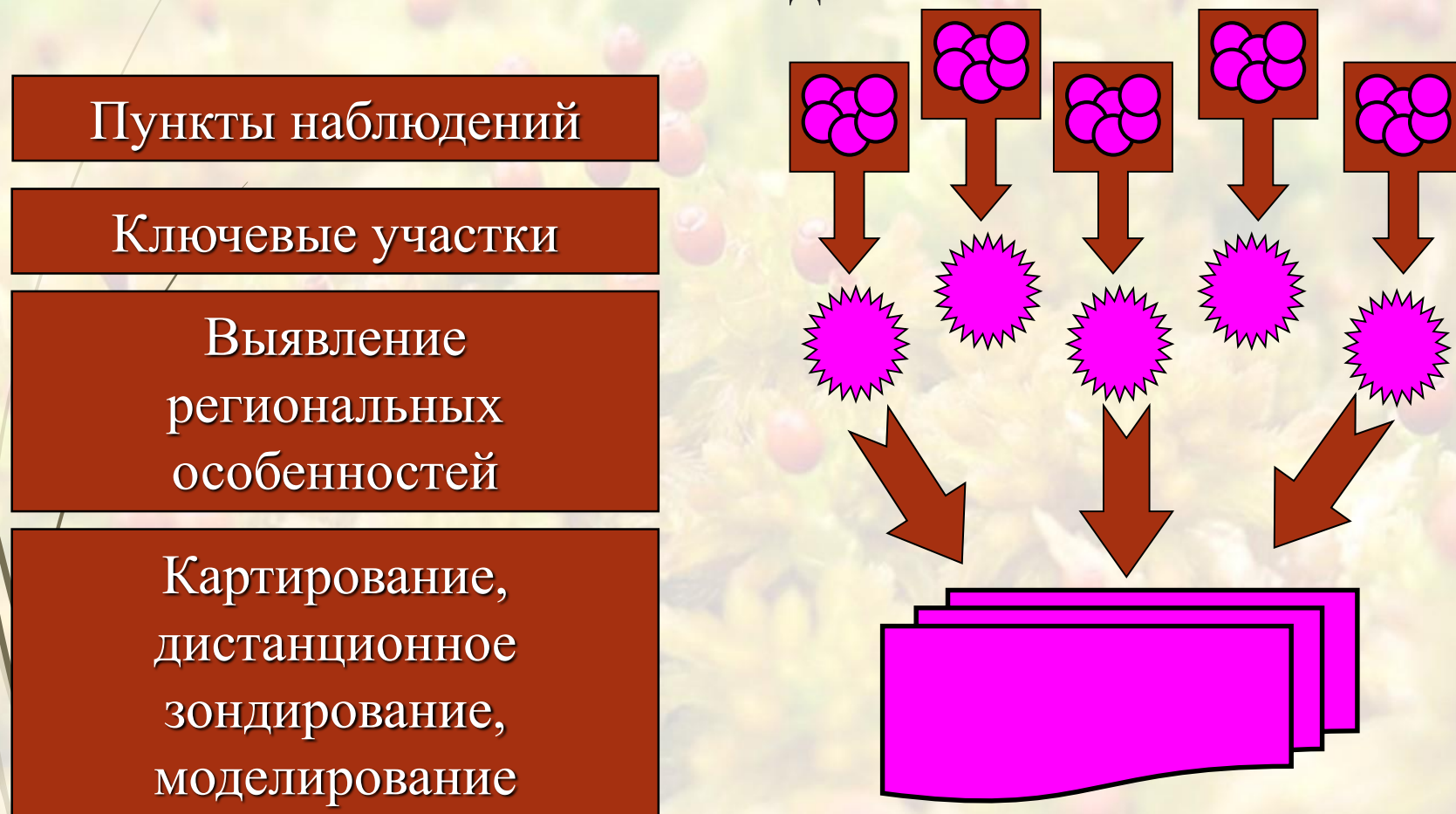


Антропогенное влияние



Мониторинг окружающей среды — это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Иерархический подход к мониторинговым наблюдениям



Исследователи болот Западной Сибири

9

► 1876 - 1914

Шостакович Б.П. (1876), Ремезов С.У., Григоровский Н.П. (1882), Выдрин А.П. (1907), Сборовский Н.А., Отрыганьев А.В. (1908)

► 1914-1940

Драницын Д.А., Кузнецов Н.И., Бронзов А.Я., Бронзова Г.Я., Ильин Р.С., Нейштадт М.И., Кац Н.Я.

► 1950 – 1990 - ...

Кузьмина М.С., Шумилова Л.В., Елисеева В.М., Львов Ю.А., Яснопольская Г.Г., Иванов К.Е., Новиков С.М., Виноградова Е. А. , Еркова Ю.В.; Романова Е.А., Храмов А.А., Валущкий В.И., Земцов А.А., Лисс О.Л., Березина Н.А., Крылов П.Н., Лапшина Е.Д., Мульдьяров Е.Я., Шепелева Л.Ф., Базанов В.А., Семенова Н.М., Бляхарчук Т.А., Инишева Л.И., Пьявченко Н.И., Тюремнов С.Н., Глебов Ф.З., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т. и др. ...

➤ **ИП 73 (2000-2003) [20 институтов]**

Комплексный мониторинг большого Васюганского Болота: исследования современного состояния и процессов развития под воздействием природных и антропогенных факторов (координатор чл.-корр. РАН М.В. Кабанов)

➤ **ИП 137 (2003-2005) [16 институтов]**

Комплексный мониторинг Большого Васюганского болота: исследования современного состояния и процессов развития (координатор чл.-корр. РАН М.В. Кабанов)

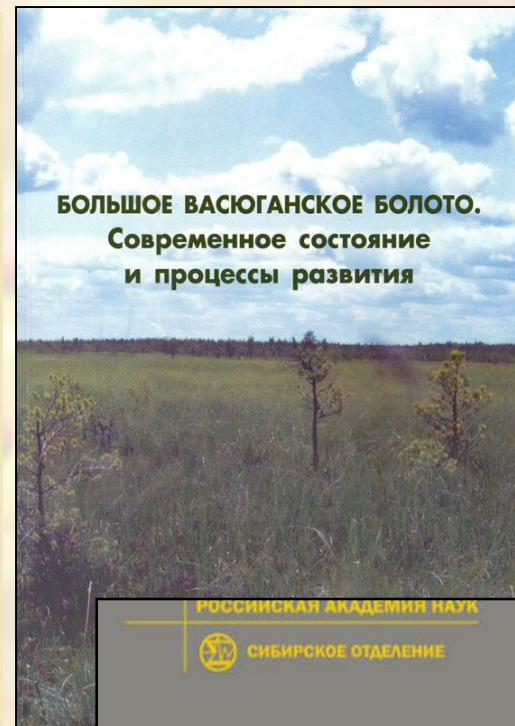
➤ **ИИ 69 (2009-2011) [7 институтов]**

Разработка научных и технологических основ мониторинга и моделирования природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота (координатор чл.-корр. РАН М.В. Кабанов)

➤ **Междисциплинарный проект (2018-2020)[3 института]**

Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири (Научные руководители проекта чл.-корр. РАН, М.В. Кабанов, профессор РАН, Е.А. Головацкая)


- **общая характеристика БВБ и прилегающих территорий**, включая описание основных этапов развития болотообразовательных процессов, а также культурно-исторических процессов в последние тысячелетия на этой территории;
- **методологические основы регионального мониторинга и моделирования**, включая обсуждение адаптированных и новых методических подходов к мониторингу и моделированию природно-климатических процессов на территории БВБ;
- **современные природно-климатические изменения на территории БВБ**, включая анализ наблюдаемых климатических, гидрологических, геохимических и атмосферных процессов;
- **состояние и процессы развития природно-ресурсного потенциала БВБ**, включая динамические аспекты торфообразования, почвообразования и ландшафтных структур на территории БВБ;
- **освоение и охрана природных ресурсов**, включая анализ состава ароматических углеводов и липидов в торфозалежах, а также обоснование ландшафтного заказника в экосистеме БВБ на уровне мирового природного наследия.



Стационар «Васюганье»

- Опорный экспедиционный пункт института, предназначенный для проведения климатоэкологических наблюдений за состоянием окружающей среды в естественно-природных условиях в регионе, занятом большой болотной системой.
- Стационар расположен в районе д. Полынянка Бакчарского района, Томской области, в северо-восточной части Большого Васюганского болота

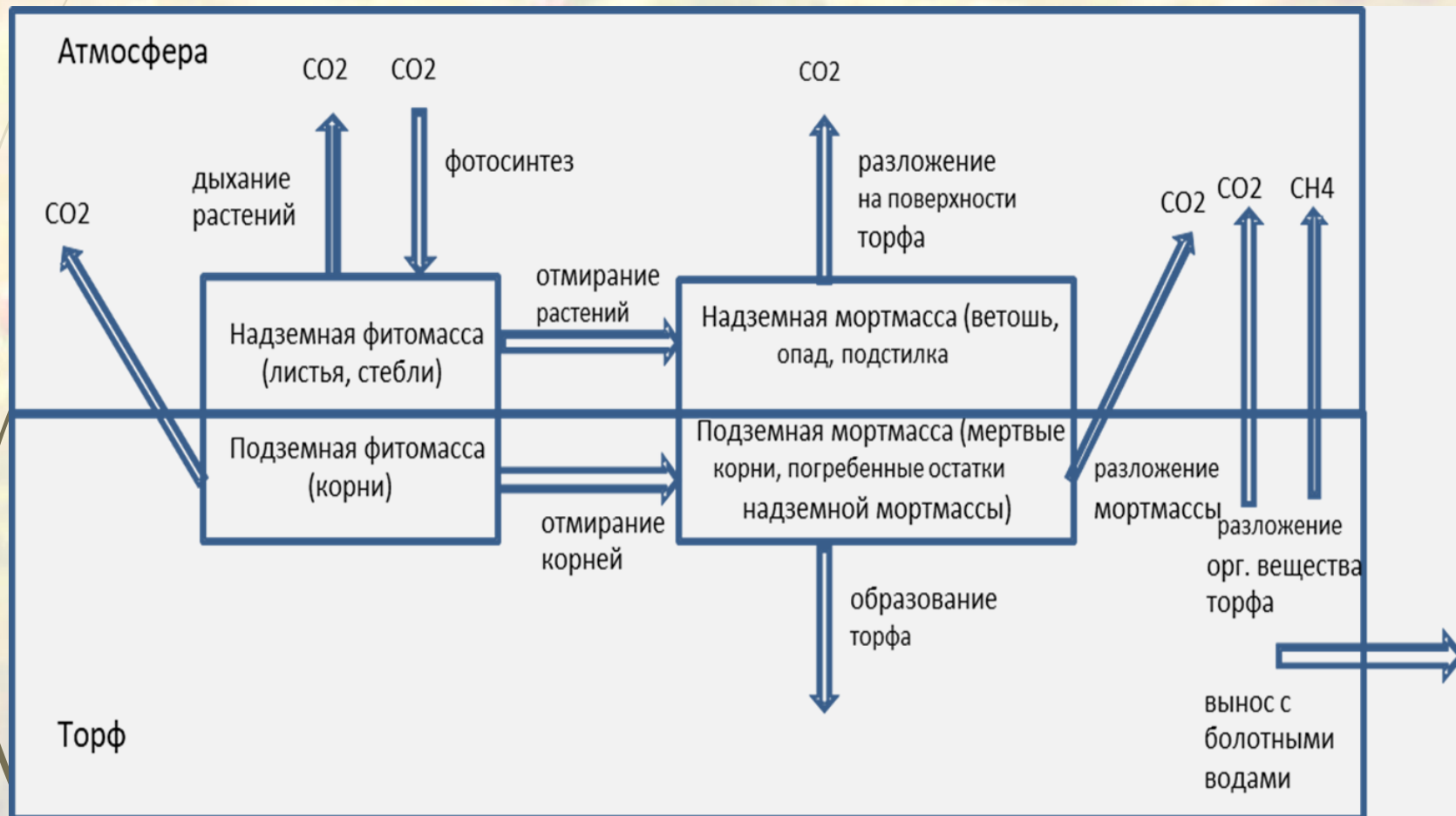


- 
- Региональная оценка углеродного баланса
 - Прогноз изменений углеродного баланса в будущем
 - Оценка скорости депонирования углерода в прошлом и современной скорости торфонакопления
 - Оценка скорости болотообразовательного процесса
 - Разработка математических моделей возникновения и развития болотных экосистем
 - Оценка изменений гидрологического и температурного режима
 - Анализ микроклиматических особенностей болотных экосистем
 - Выявление роли БВБ на климат региона
 - Моделирование биологических и климатических процессов.
 - Калибровка и оценка результатов расчетов климатических моделей
 - Использование ключевых участков для верификации данных спутниковых наблюдений
 - Оценка влияния деятельности нефте- газо- и железорудной промышленности на болотные экосистемы и экологию региона

УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

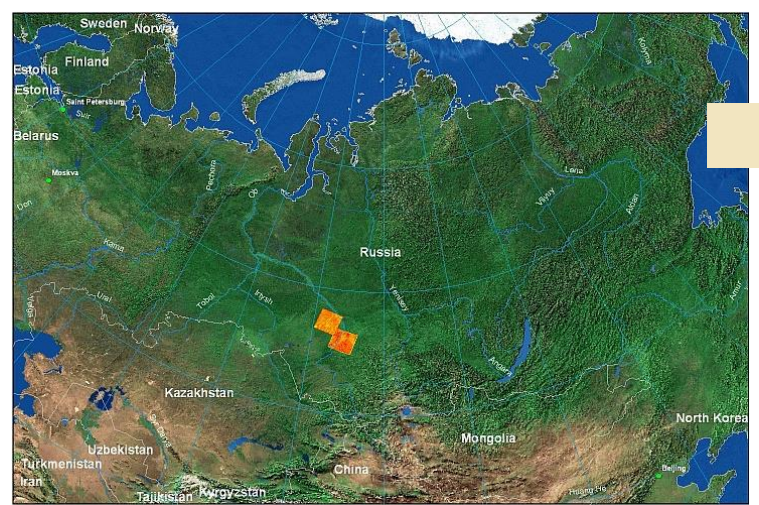
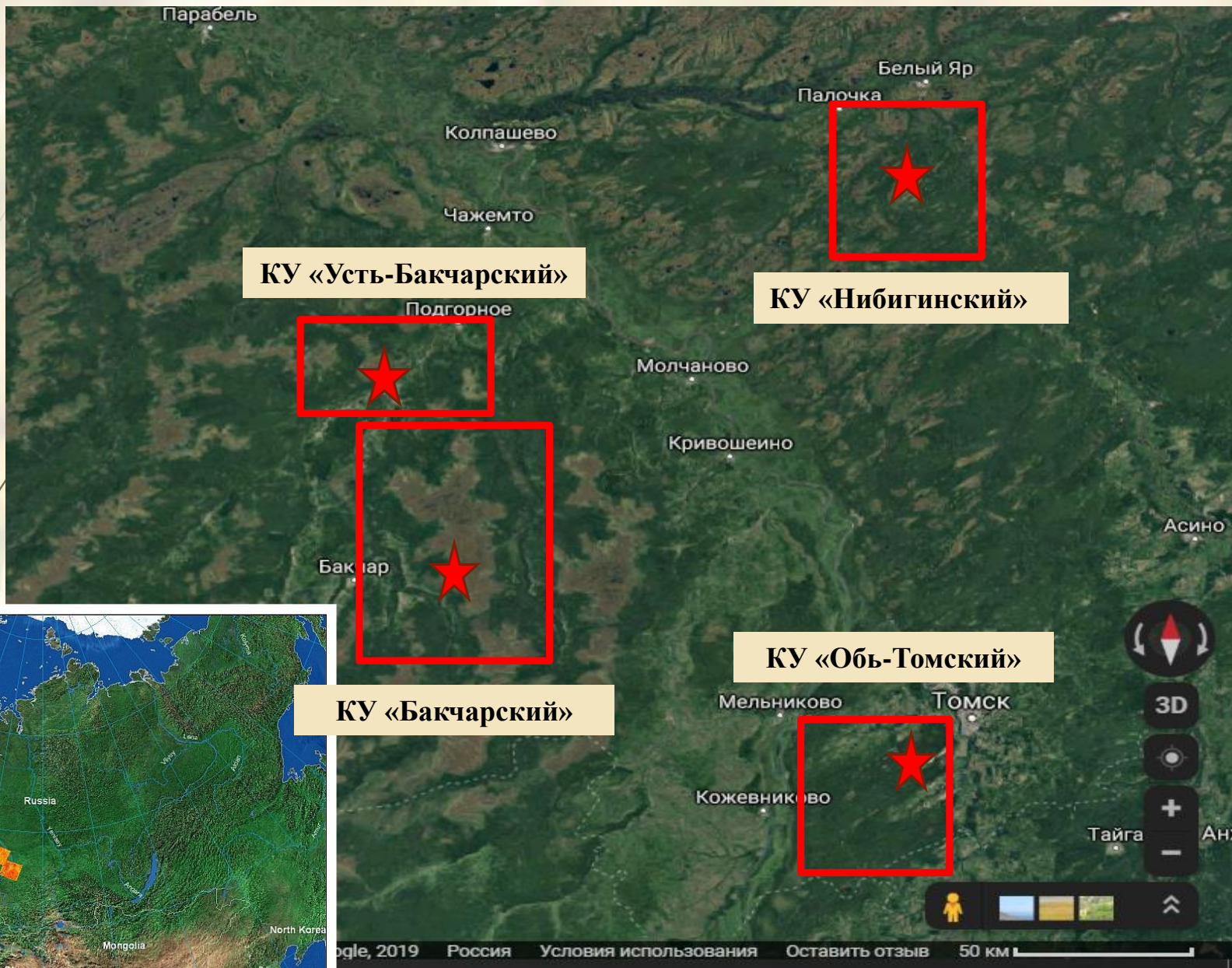
14

- В настоящее время болотные экосистемы служат стоком углерода из атмосферы, о чем свидетельствуют многочисленные оценки.
- При изменении климатических условий или антропогенном воздействии болота из стока могут превратиться в источник парниковых газов.



Объекты исследования

1
5



16 **Ключевой участок «Бакчарский» олиготрофное болото
«Бакчарское»**



Высокий рям – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз - ВР



Низкий рям – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз - НР



Грядово-мочажинный комплекс -
ГМКГ; ГМКМ



Осоково-сфагновая топь - ОТ

Ключевой участок «Бакчарский» эвтрофное болото «Самара»



Осоково-кустарничковый фитоценоз -
СО



Ерниково-осоковый фитоценоз -
СЕ



Сосново-елово-кедрово-
березовая согра - СС

Ключевой участок «Тимирязевский»



Сосново-кустарничково-сфагновый
фитоценоз - ТР



Сосново-кустарничково-сфагновый
фитоценоз - КР



Осоково-сфагновая топь - ТТ



Осоково-сфагновая топь- КТ

Ключевой участок «Усть-Бакчарский»



Сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз - низкий рям



Кустарничково-сфагновая топь



Шейхцериёво-сфагновая топь

Осушенное болото



Кустарничково-сфагновый фитоценоз



Сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз после пожара

Ключевой участок «Нибигинский»



Методы исследования

Биологическая продуктивность:

Запас биомассы определялся:

Наземная продукция – укосным методом (без учета древесного яруса);

Подземная продукция - методом монолитов Шалыта.

NPP рассчитывалась как сумма приростов всех видов растений на единице площади за год.

Продукция древесного яруса

оценивалась по модельным деревьям как сумма хвои последней генерации и побегов текущего года.

Содержание углерода в торфе, болотной воде определялось по общепринятым методикам.



Скорость разложения

- метод закладки растительности в торф
16 видов растений-торфообразователей.

Масса навески 3-6 г.

Скорость разложения рассчитывалась как процент потери массы через 8, 12, 20, 24 месяца по следующей формуле:

$$\text{Скорость разложения (\%)} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

где W_0 вес исходного образца, W_1 вес образца через 8, 12, 20, 24 месяцев.

В каждом образце до и после разложения определяли содержание углерода, азота, зольность и рассчитывали потери углерода и азота как процент от исходного содержания:

$$\text{Потери элемента (\%)} = \frac{(X_0 W_0 - X_1 W_1)}{X_0 W_0} \times 100$$

где X_0 исходное содержание элемента (мг/г), X_1 содержание элемента через 8, 12, 20, 24 месяцев



Эмиссия CO₂

Измерение эмиссии углекислого газа проводили камерным методом с помощью оптического газоанализатора ОПТОГАЗ 500.4. Время экспозиции 30 мин. Измерения проводились с мая по сентябрь.

$$F = dc \cdot H$$

где F – скорость эмиссии CO₂, мгCO₂/м²/час; dc - изменение концентрации CO₂ в камере, мг/м³/час; H – высота камеры, м.

Метеорологические и гидротермические наблюдения:

- температура воздуха
- относительная и абсолютная влажность воздуха,
- атмосферное давление,
- уровень болотных вод,
- влажность торфа,
- температура торфяной залежи,
- содержание CO₂ в воздухе



Данные по эмиссии метана получены из литературных источников.

Годовой поток углерода

Суммарная эмиссия CO₂ за бесснежный период была рассчитана с использованием выявленной ранее зависимости между потоком CO₂ и температурой воздуха.

$$F = a \times \exp^{(b \times T)},$$

где F – поток CO₂, T – температура воздуха, b - параметр, отражающий чувствительность эмиссии к температуре, a - параметр, соответствующий эмиссии CO₂ при T = 0 °C.

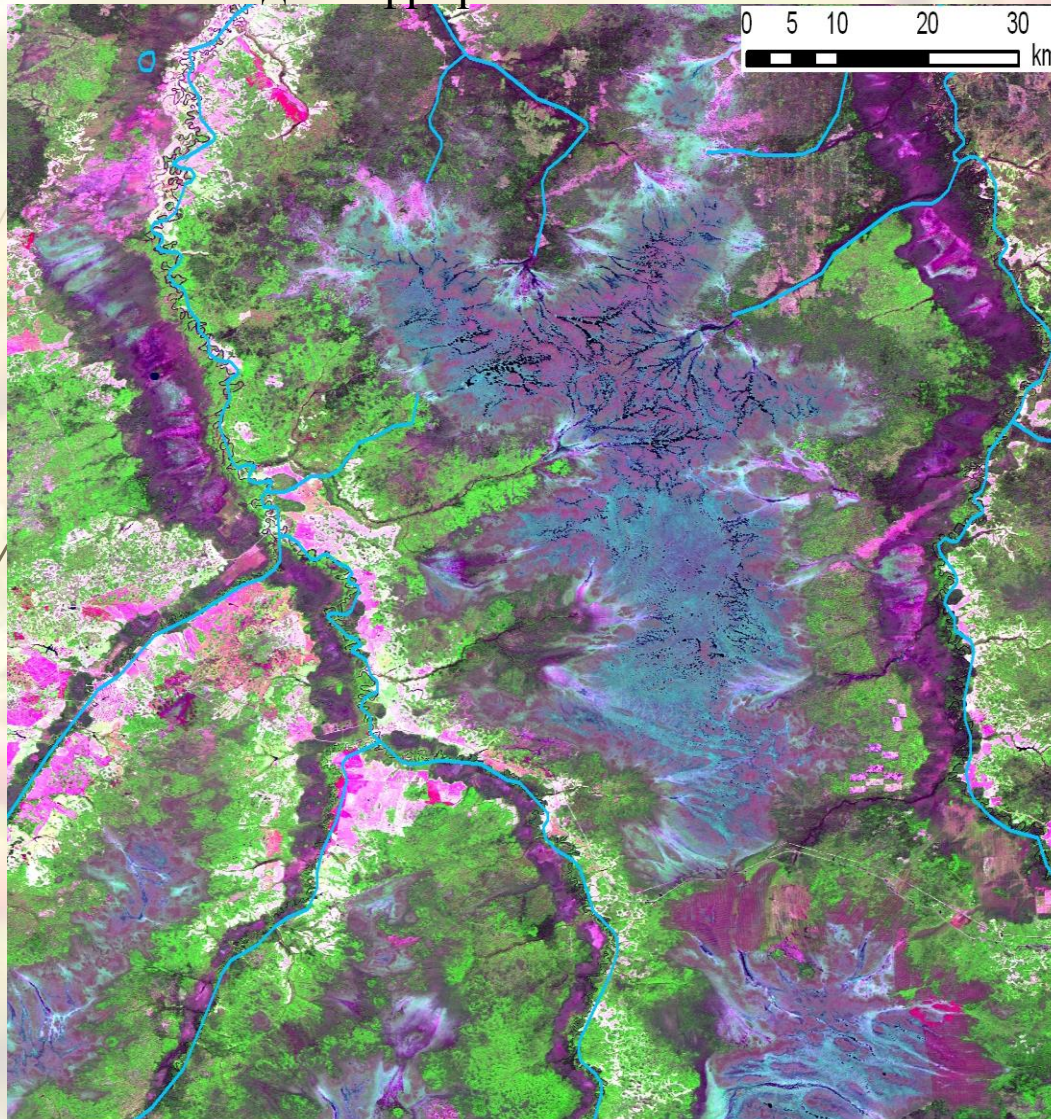
Годовой поток углерода – сумма летней и зимней эмиссии CO₂ и CH₄ и выноса углерода с болотными водами.

Баланс углерода = NPP-Годовой поток углерода

Картирование ключевого участка «Бакчарское болото»:

Маршрутные исследования

Анализ и дешифрирование космических снимков LANDSAT



Долгота:
82° 09' 54.57"
82° 11' 17.58"

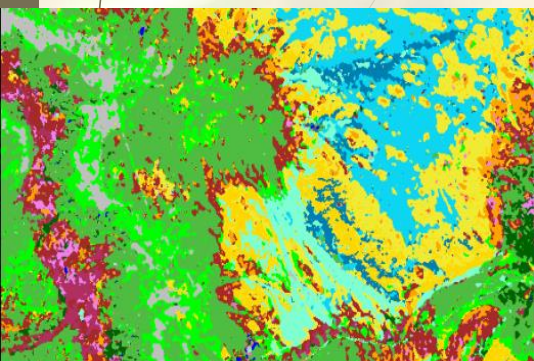
Широта:
57° 01' 10.10"
57° 00' 23.23"

Площадь:
586 556 га

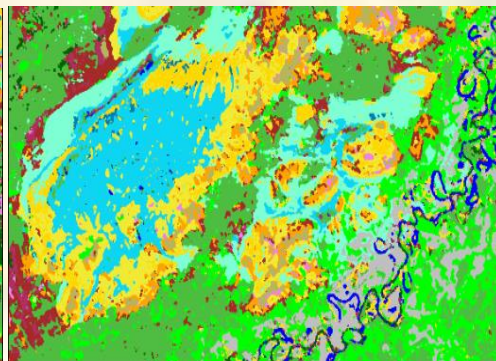
26 Результаты дешифрирования

Фрагменты карты растительного покрова для ключевых участков

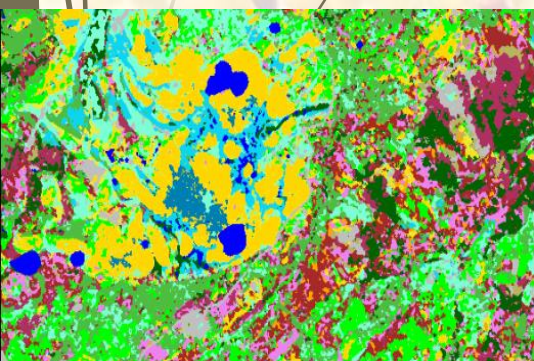
Бакчарский



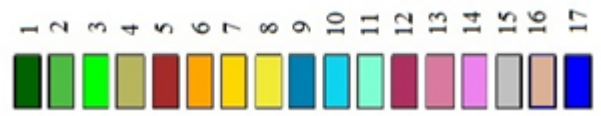
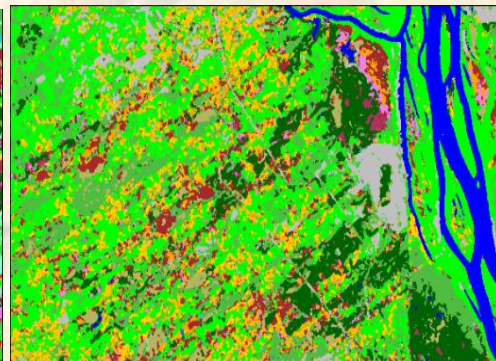
Усть-Бакчарский



Нибигинский





Обь-Томский



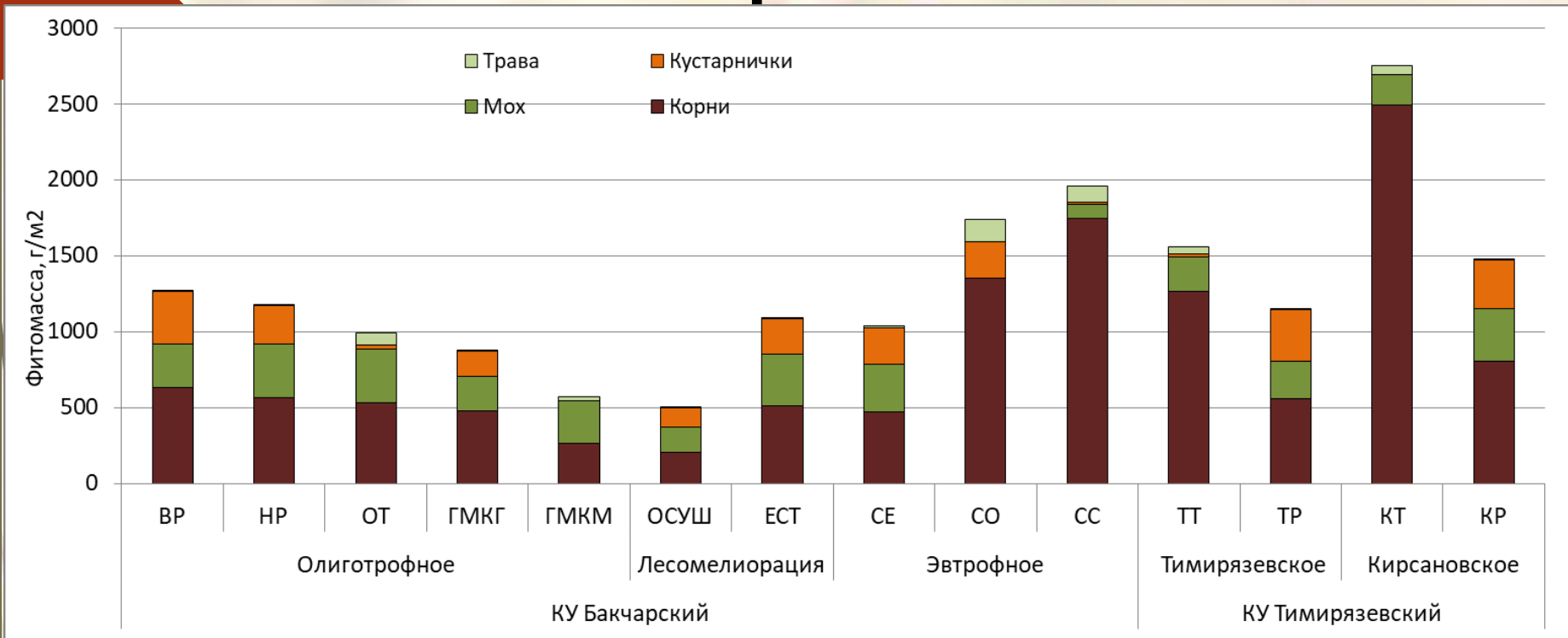
Площади классов растительного покрова для исследуемой территории

| № | Подгруппа / (тип) | Площадь км2 | Площадь % |
|----------------------------|---|----------------|-------------|
| Леса | | 56 678 | 50.6 |
| 1 | Темнохвойные | 16 330 | 14.6 |
| 2 | Лиственные | 16 803 | 15.0 |
| 3 | Смешанные | 21 911 | 19.6 |
| 4 | Сосновые | 1 634 | 1.5 |
| Болота олиготрофные | | 35 336 | 31.5 |
| 5 | Древесно-кустарниково-моховая (сомкн. крон 0,4-0,7) | 10 119 | 9.0 |
| 6 | Древесно-кустарниково-моховая (сомкн. крон 0,2-0,4) | 2 970 | 2.7 |
| 7 | Древесно-травяно-моховая | 5 607 | 5.0 |
| 8 | Моховая (грядово-мелкомочажинный тип) | 4 289 | 3.8 |
| 9 | Моховая (сфагновый тип) | 1 078 | 1.0 |
| 10 | Моховая (грядово-мочажинный тип) | 4 619 | 4.1 |
| 11 | Травяно-моховая | 6 654 | 5.9 |
| Болота эвтрофные | | 6 356 | 5.7 |
| 12 | Древесная (согра) | 2 584 | 2.3 |
| 13 | Древесно-травяно-моховая | 3 022 | 2.7 |
| 14 | Кустарниково-травяно-моховая | 750 | 0.7 |
| Прочие | | 13 637 | 12.2 |
| 15 | Поля, луга, пашни | 5 092 | 4.5 |
| 16 | Гари | 2 626 | 2.3 |
| 17 | Водные объекты | 5 919 | 5.3 |
| Всего | | 112 007 | 100 |



**Биологическая
продуктивность болотных
фитоценозов**

Запасы фитомассы



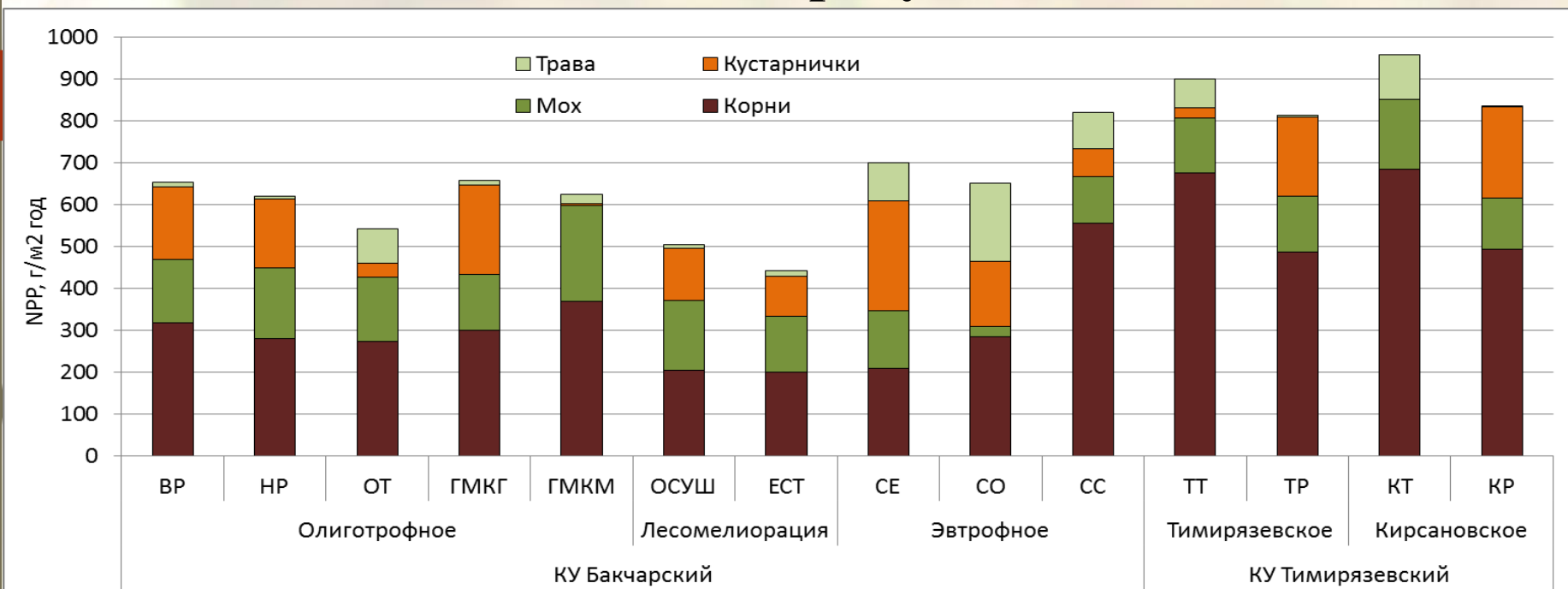
$$\text{ФМ} = -9,44\text{УБВ} + 127,93, R^2 = 0,53,$$

где ФМ – надземная фитомасса сосудистых растений, г/м²; УБВ – уровень болотных вод, см; R² – коэффициент детерминации.

Фитомасса Низкого ряма зависит от температуры воздуха $r=0,58$ и количества осадков - $r=-0,55$.

Фитомасса эвтрофного болота зависит от количества осадков $r=-0,41$.

Биологическая продуктивность



Коэффициенты корреляции между NPP и гидротермическими параметрами

| Фитоценоз | Температура воздуха | Количество осадков | ГТК | УБВ |
|-----------|---------------------|--------------------|-------|-------|
| BP | 0,64 | -0,50 | -0,31 | 0,57 |
| HP | - | -0,65 | -0,37 | -0,30 |
| OT | 0,69 | - | - | - |
| CE | -0,44 | - | - | -0,56 |

Регрессионные уравнения для общей NPP и фитомассы разных фракций растительности

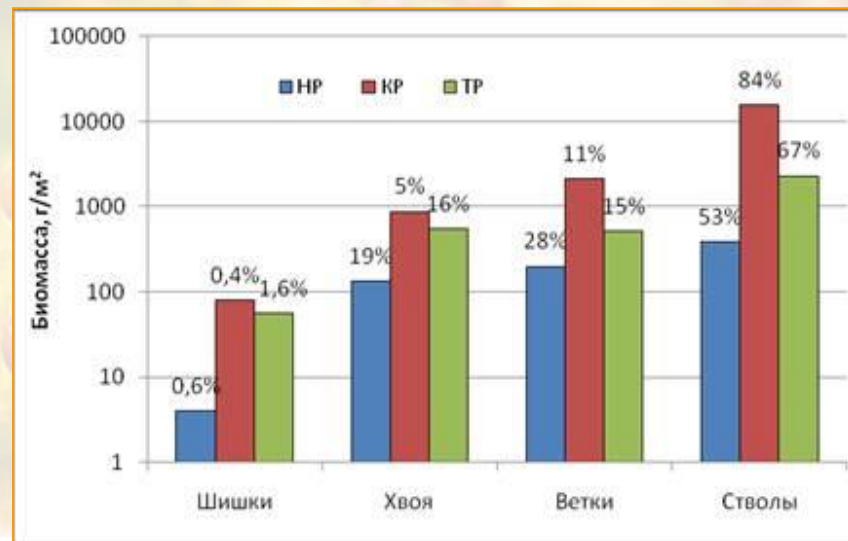
| | Уравнения регрессии | N | R ² |
|-----------------------|---|----|----------------|
| NPP трав олиготроф. | $NPP_{\text{трав}} = 0,99 \times (\text{фитомасса трав}) + 2,1$ | 33 | 0,94 |
| NPP кустарн. олиготр. | $NPP_{\text{кустарн.}} = 0,41 \times (\text{фм кустарн.}) + 39$ | 33 | 0,58 |
| BNP олиготроф. | $BNP = 0,24 \times (\text{фм корней}) + 151$ | 33 | 0,44 |
| NPP олиготроф. | $NPP = 0,31 \times (\text{фм}) + 257$ | 33 | 0,49 |
| NPP эвтрофного | $NPP = 1,43 \times (\text{фм трав}) + 541,67$ | 17 | 0,45 |
| ANP эвтрофного | $ANP = 0,0685 \times (\text{фм}) + 310,68$ | 17 | 0,46 |

Биологическая продуктивность

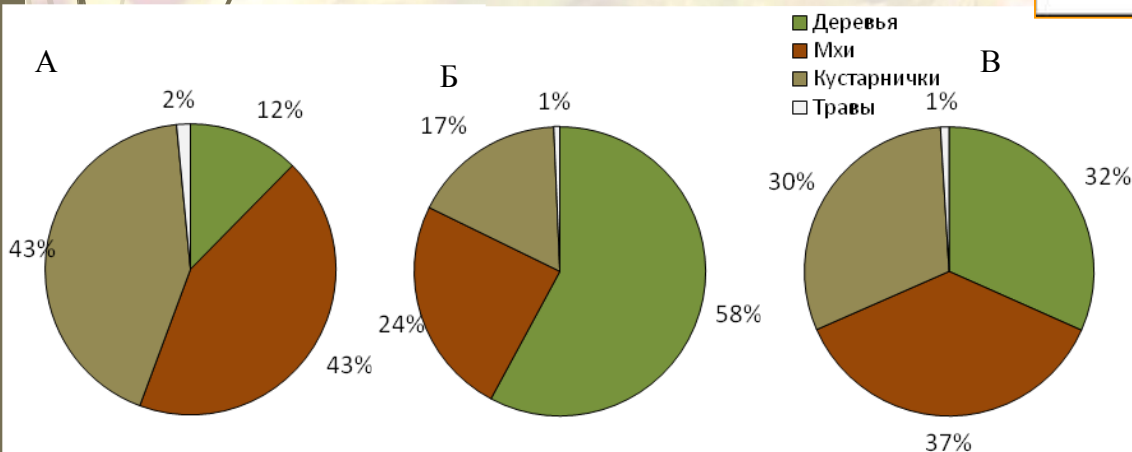
Характеристика древостоя

| | Высота деревьев, средняя и макс., м | Диаметр ствола, средний и макс., см | Кол-во, шт/га | Подрост, шт/га |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Бакчарское (А) | 1,4(3,6) | 1,4(7,0) | 12560 | 19600 |
| Кирсановское (Б) | 4,0(10,1) | 5,3(24,3) | 10080 | 1440 |
| Тимирязевское (В) | 3,3(8,3) | 4,1(14,6) | 11600 | 10400 |

Запасы биомассы древесного яруса



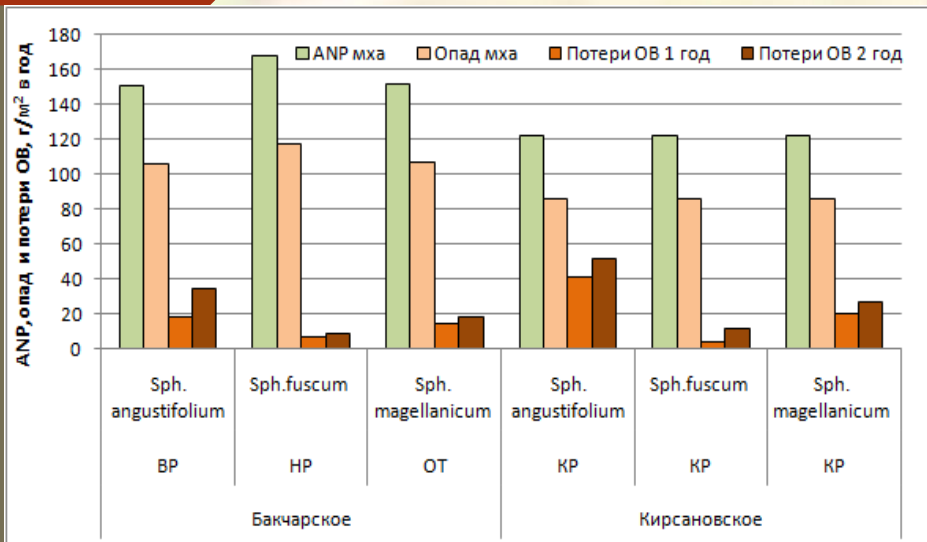
АНР ямов с учетом древесного яруса



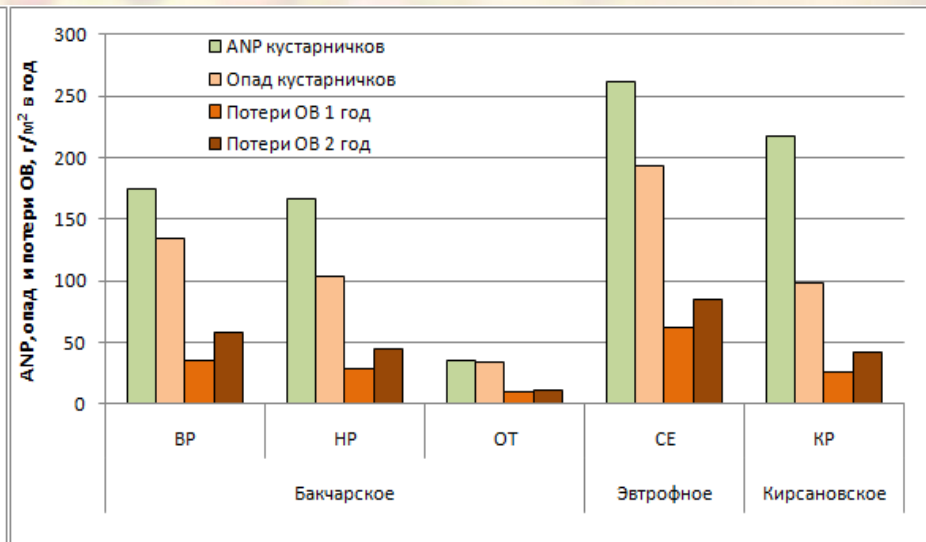
Вклад древесного яруса в запасы фитомассы и продукцию ямочных участков исследованных болотных экосистем значителен и составляет **43-92 %** для общих запасов фитомассы и **18-63 %** для АНР.

Продукция, опад и потери органического вещества при разложении растительных остатков

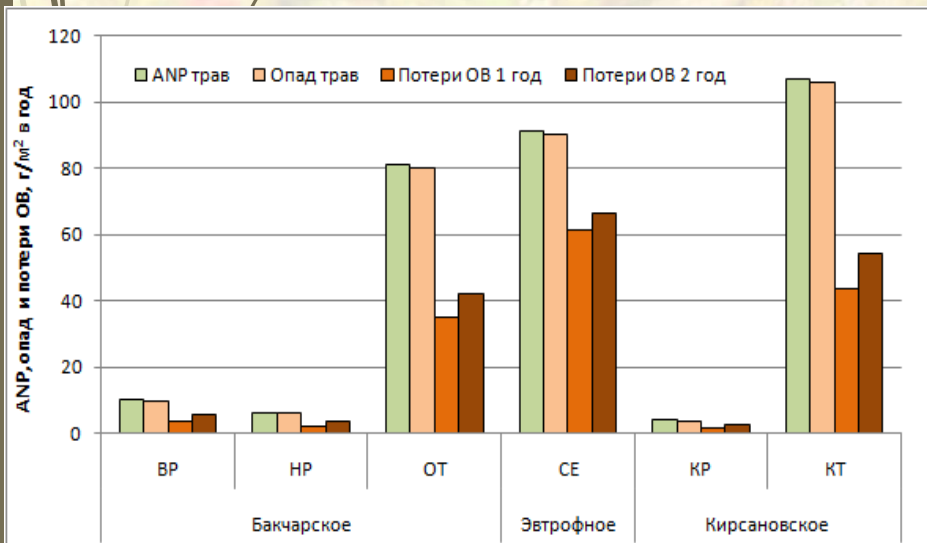
Сфагновые мхи



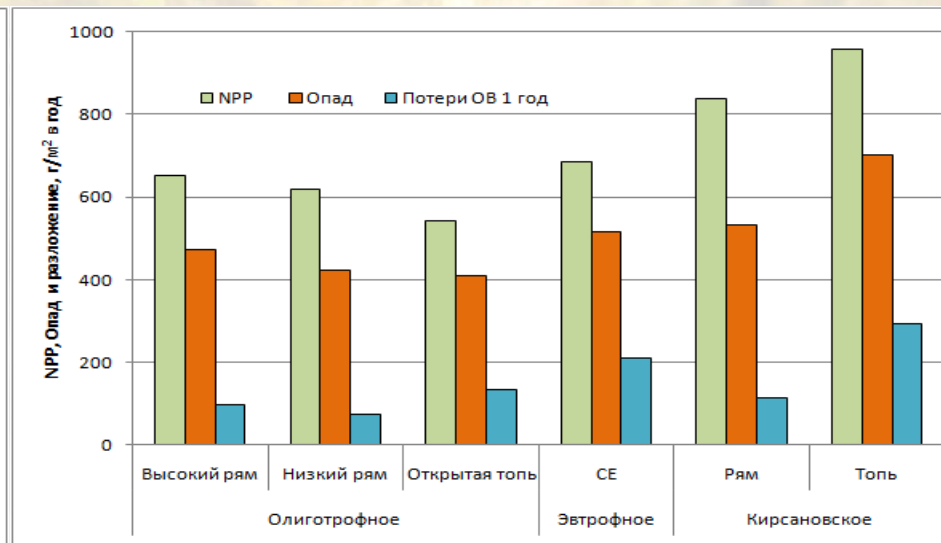
Кустарнички



Травы



Фитоценоз



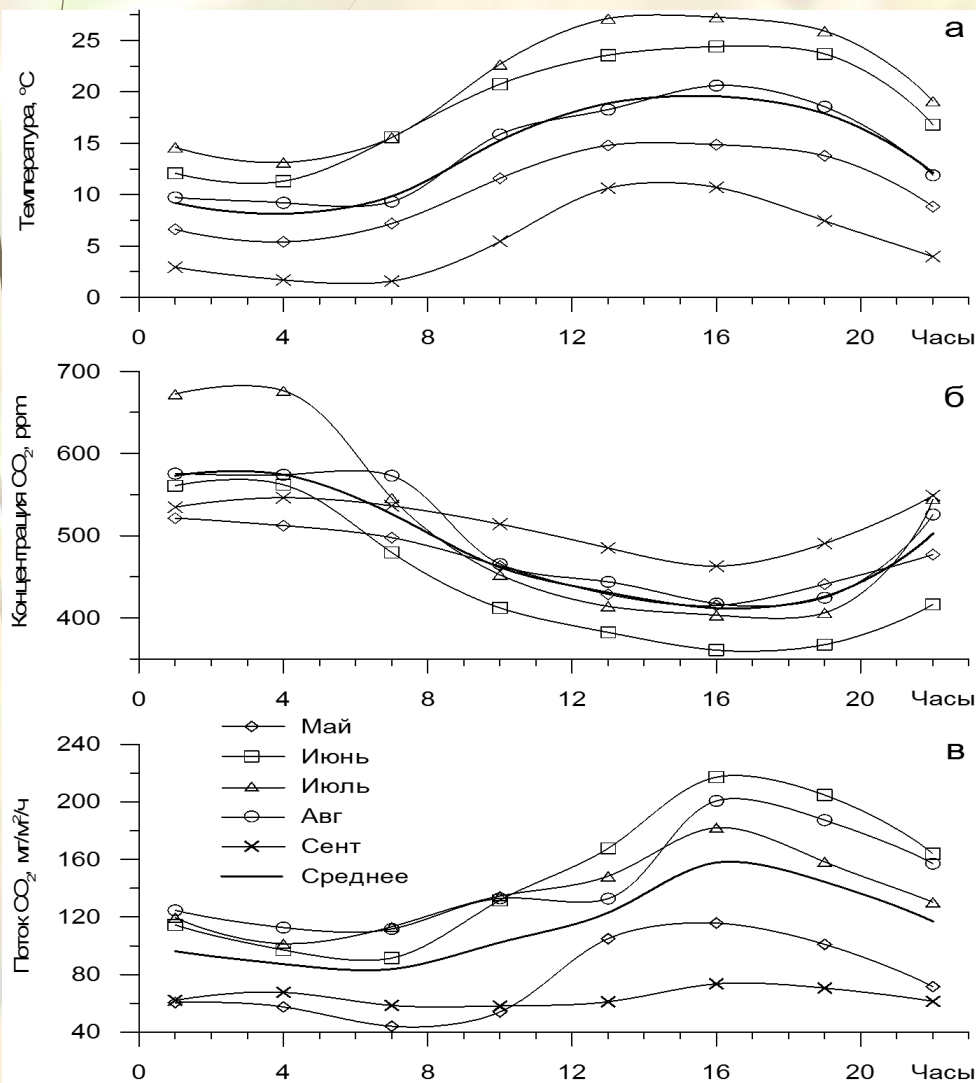
Депонирование углерода при разложении растительных остатков

| Болото, фитоценоз | NPP | Ежегодный опад | Потери углерода при разложении опада | Ежегодное депонирование углерода в опаде | |
|-------------------|-----------|-------------------|---|---|-----------------------|
| | | | | | гС/м ² год |
| «Бакчарское» | ВР | 294 | 212 | 45 | 167 |
| | НР | 279 | 195 | 34 | 161 |
| | ОР | 243 | 184 | 60 | 124 |
| «Самара» | СЕ | 315 | 232 | 95 | 137 |
| «Кирсановское» | КР | 377 | 240 | 51 | 189 |
| | КТ | 431 | 315 | 132 | 183 |

Количество углерода, запасаемого в процессе фотосинтеза, значительно превышает потери углерода при разложении растительных остатков, как для отдельных видов растений (в 2–25 раз в зависимости от вида растений), так и для фитоценоза в целом (в 3–7 раз в зависимости от фитоценоза).

Эмиссия CO_2 с поверхности торфяной залежи

Суточная динамика температуры воздуха (а), концентрации CO_2 в воздухе (б) и эмиссии CO_2 (в) для разных месяцев. Средние значения за 2005-2007гг.

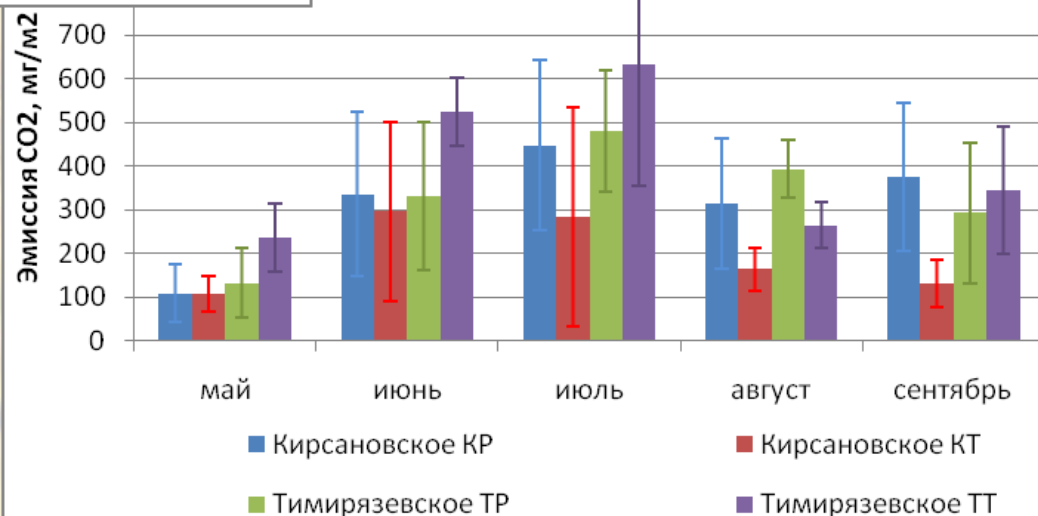
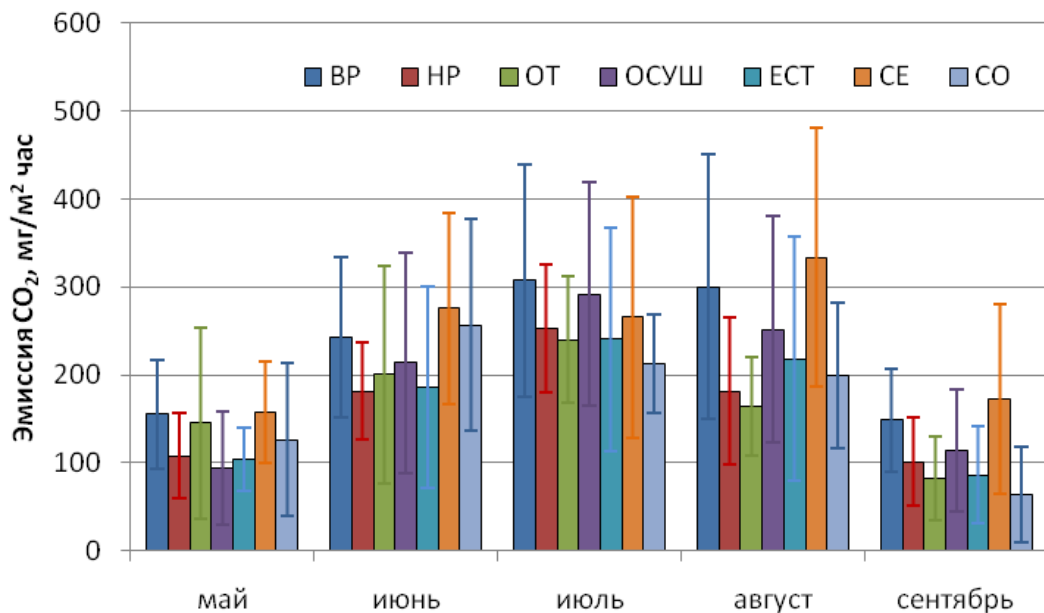


Использование только дневных измерений потока CO_2 при вычислении ежегодной эмиссии CO_2 приводит к переоценке потоков CO_2 на 20–50 %.

Наиболее значимым фактором, влияющим на интенсивность эмиссии CO_2 является температура воздуха и торфяной залежи.

Эмиссия CO₂ с поверхности торфяной залежи

Сезонная динамика эмиссии CO₂



Эмиссия CO_2 с поверхности торфяной залежи

Эмпирические модели и температурные коэффициенты Q_{10} , отражающие взаимосвязь между интенсивностью эмиссии CO_2 и температурой воздуха

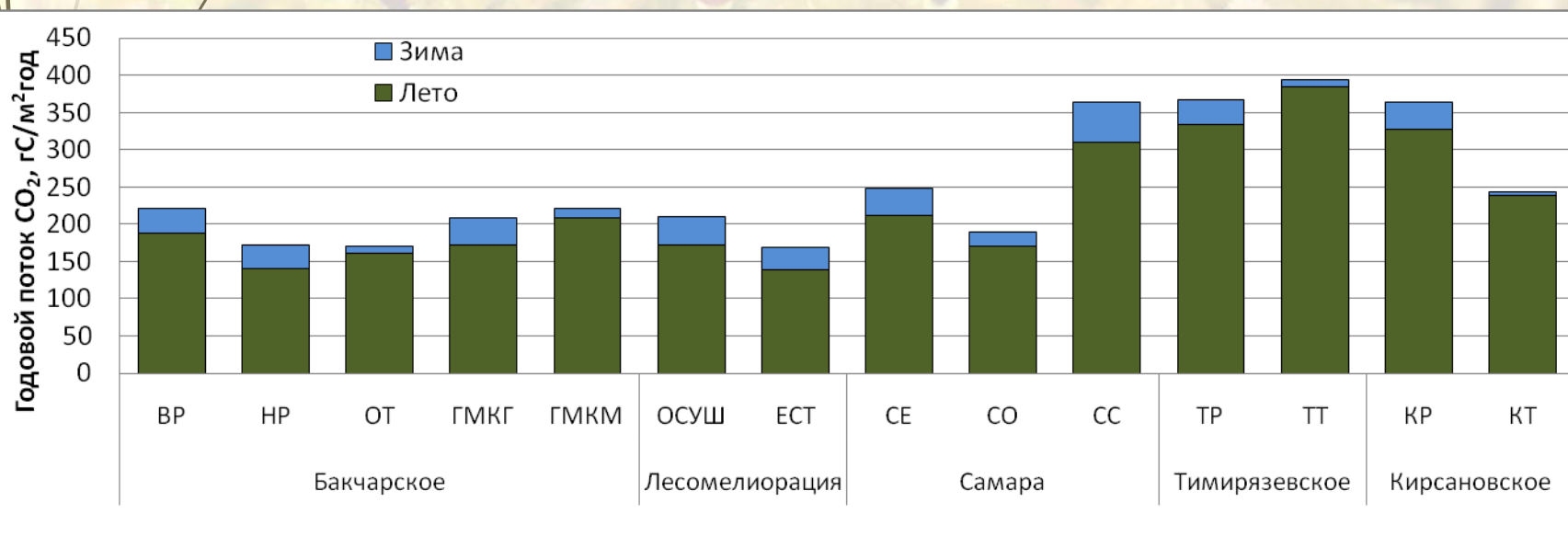
| | Фитоценоз | Число измерений | Уравнение регрессии | Коэффициент детерминации, R^2 | Q_{10} |
|--------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------------------------|----------|
| Бакcharское болото | Высокий рям | 72 | $F=69,89e^{0,060x}$ | 0,44 | 1,8 |
| | Низкий рям | 77 | $F=56,06e^{0,054x}$ | 0,49 | 1,7 |
| | Открытая топь | 72 | $F=67,45e^{0,054x}$ | 0,47 | 1,7 |
| | ГМКГ | 15 | $F=73,76e^{0,062x}$ | 0,52 | 1,9 |
| | ГМКМ | 15 | $F=64,66e^{0,059x}$ | 0,47 | 1,8 |
| т.м. Васюганское | Осуш | 50 | $F=27,94e^{0,116x}$ | 0,41 | 3,2 |
| | Ест | 38 | $F=33,34e^{0,089x}$ | 0,43 | 2,4 |
| Эвтрофное болото Самара | СЕ | 35 | $F=54,51e^{0,084x}$ | 0,43 | 2,3 |
| | СО | 35 | $F=32,24e^{0,107x}$ | 0,63 | 2,9 |
| | СС | 20 | $F=86,59e^{0,080x}$ | 0,48 | 2,2 |
| Тимирязевское | ТТ | 29 | $F=132,44e^{0,056x}$ | 0,51 | 1,8 |
| | ТР | 28 | $F=89,35e^{0,062x}$ | 0,53 | 1,9 |
| Кирсановское | КТ | 26 | $F=43,71e^{0,070x}$ | 0,51 | 2,0 |
| | КР | 28 | $F=58,87e^{0,091x}$ | 0,63 | 2,5 |

Полученные уравнения использовались для расчета суммарного потока CO_2

Эмиссия CO₂ в зимний период на Тимирязевском (ноябрь 2010 г.) и Бакчарском болотах (март 2012 г.)

| | Тимирязевское | | Бакчарское | |
|---|---------------|---------|------------|---------|
| | ТР | ТТ | НР | ОТ |
| CO ₂ , мг/м ² час | 24,2±19,1 | 7,0±3,6 | 27,1±10,2 | 7,5±4,2 |
| Т поверхности торфа, °С | -1,6 | -0,2 | -1,0 | -0,9 |
| Т воздуха, °С | -6,0 | -6,8 | -0,1 | -0,4 |
| Глубина залегания льда, см | 25 | 10 | 15 | 0 |
| Высота снежного покрова, см | 30 | 20 | 50 | 50 |

Суммарный годовой поток CO₂ с поверхности торфяной залежи



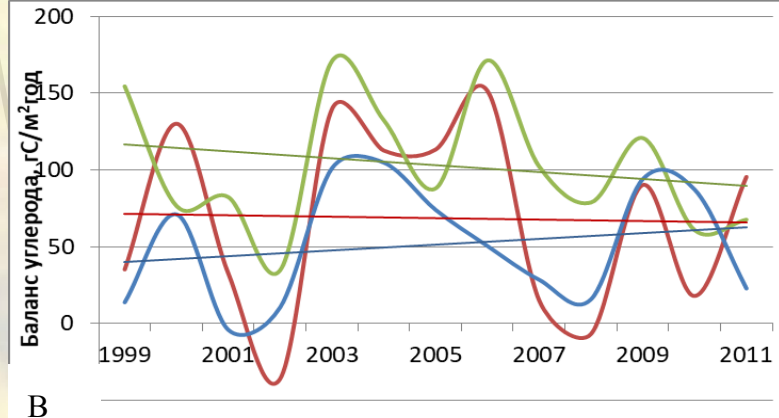
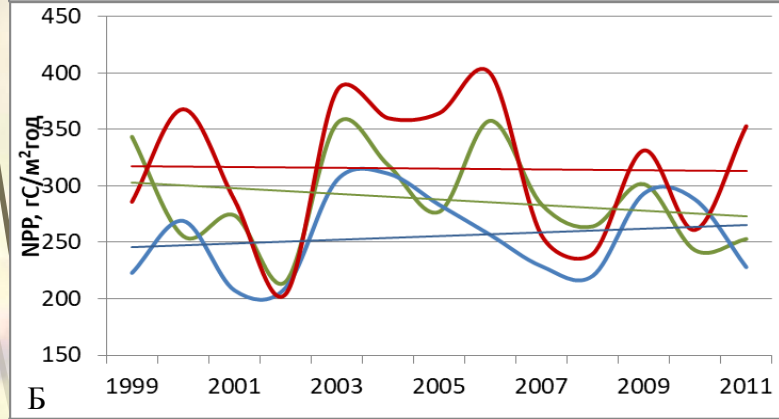
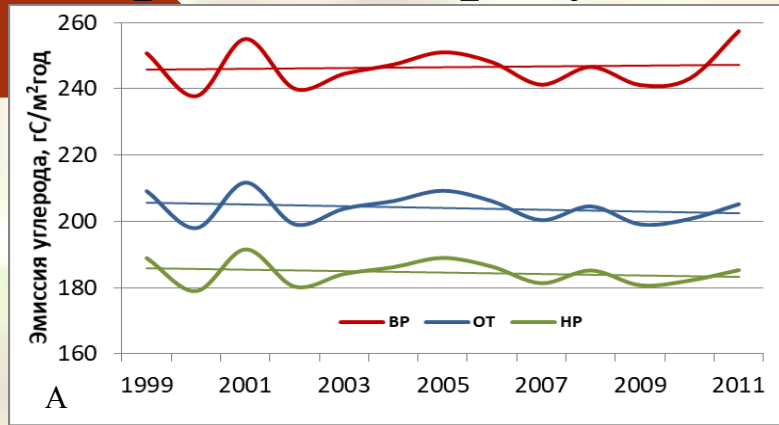
Потоки и баланс углерода в болотных фитоценозах

| Болото | Фитоценоз | Потоки углерода, гС/м ² год | | | | NEP | Чистая аккумуляция С в торфе | Чистая аккумуляция С в растительности |
|--------------|-----------|--|-----|-----|-----|------------|------------------------------|---------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| Бакчарское | BP | 167 | 294 | 122 | 167 | 127 | 45 | 82 |
| | HP | 93 | 279 | 59 | 161 | 186 | 102 | 84 |
| | OT | 132 | 243 | 72 | 124 | 111 | 52 | 59 |
| Самара | CE | 196 | 315 | 101 | 137 | 119 | 6 | 113 |
| Кирсановское | KP | 310 | 377 | 241 | 203 | 67 | -38 | 105 |
| | KT | 263 | 431 | 131 | 183 | 168 | 52 | 116 |

Прим.: 1 – суммарный поток углерода с поверхности торфяной залежи;
 2 – NPP;
 3 – потери углерода при разложении торфа;
 4 – остаток опада в экосистеме;
 5 – чистая экосистемная продукция (NEP),
 6 – чистая аккумуляция углерода в торфе;
 7 – чистая аккумуляция С в растительности

Все исследованные болотные фитоценозы в настоящее время являются стоком углерода из атмосферы, который накапливается как в виде торфа, так и в виде растительности. Из-за различия в интенсивности потоков углерода с поверхности торфяной залежи болотных фитоценозов, при близких значениях NPP, чистая экосистемная продукция (NEP) может отличаться для разных фитоценозов в 1,5–2 раза.

38 Межгодовая вариабельность эмиссии углерода (А), чистой первичной продукции (Б) и баланса углерода - NEP (В)

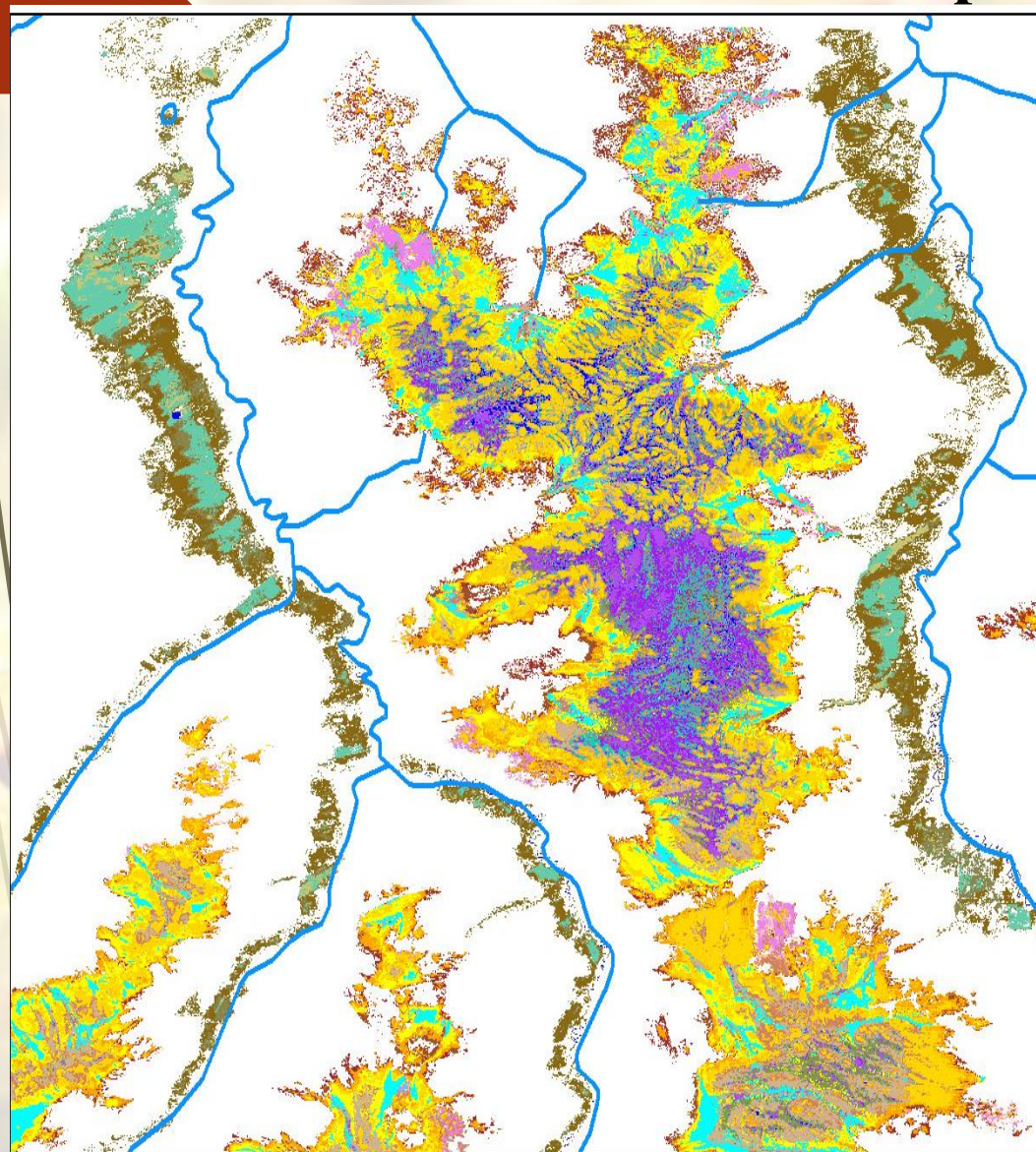


Изменение погодных условий в период с 1999 по 2011 гг.

Динамика баланса углерода (NEP) в период 1999–2011 гг. не имеет значимого тренда изменения. Межгодовая изменчивость очень велика, и в отдельные годы наблюдаются отрицательные значения NEP, что свидетельствует о преобладании процессов выделения углерода над его поглощением. Однако, отрицательный баланс углерода является частью нормальной климатической вариабельности.

Региональная оценка баланса углерода на примере

КУ «Бакчарский»»

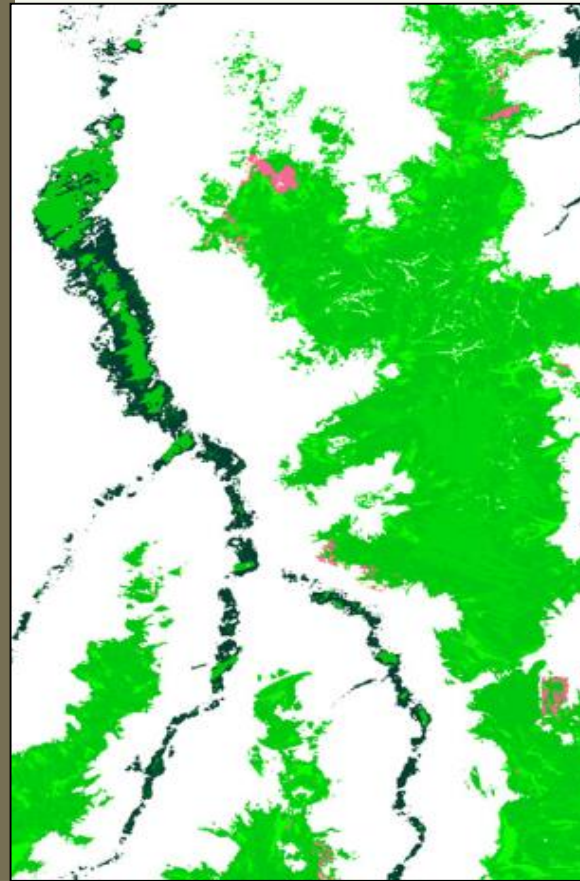


| Фитоценоз | Площадь, га | % |
|---------------------|-------------|------|
| 1 | 8 149 | 3,8 |
| 2 | 8 324 | 3,9 |
| 3 | 22 237 | 10,5 |
| 4 | 32 334 | 15,3 |
| 5 | 26 266 | 12,4 |
| 6 | 6 051 | 2,9 |
| 7 | 12 390 | 5,8 |
| 8 | 1 893 | 0,9 |
| 9 | 3 298 | 1,6 |
| 10 | 4 113 | 1,9 |
| 11 | 8 549 | 4,0 |
| 12 | 5 134 | 2,4 |
| 13 | 8 870 | 4,2 |
| 14 | 3 819 | 1,8 |
| 15 | 12 900 | 6,1 |
| 16 | 2 141 | 1,0 |
| 17 | 4 981 | 2,4 |
| 18 | 8 363 | 3,9 |
| 19 | 32 084 | 15,1 |
| ИТОГО площадь болот | 211 895 | |

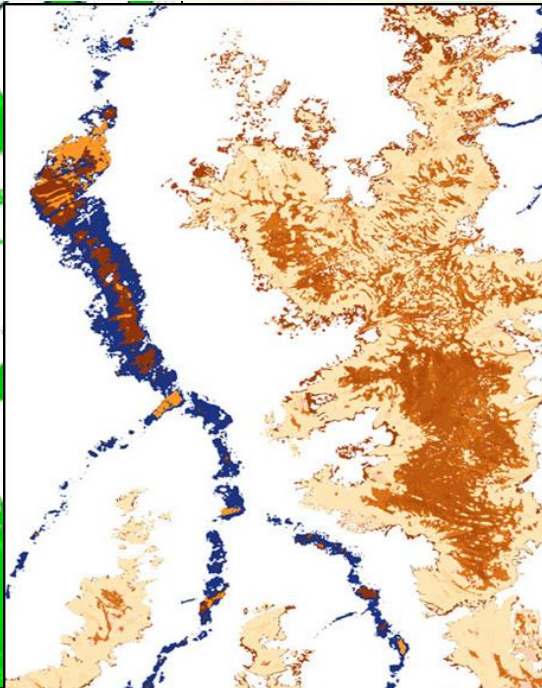
Болотные экосистемы ключевого участка «Бакчарский»

Региональная оценка баланса углерода на примере КУ «Бакчарский»»

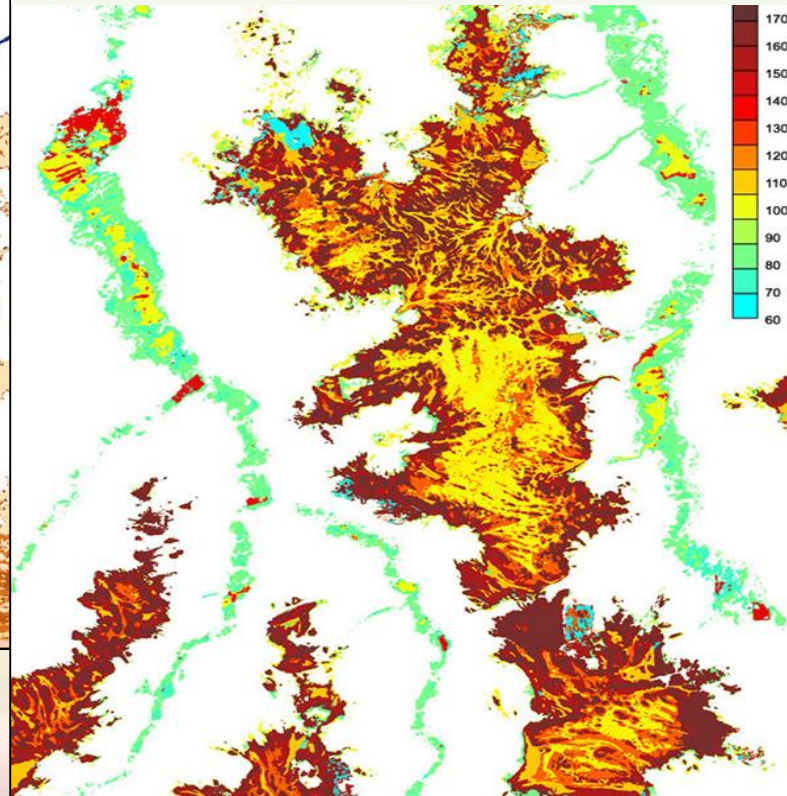
Карта чистой первичной продукции
КУ «Бакчарский»



Карта суммарного потока углерода
с поверхности торфяной залежи
болотных экосистем КУ
«Бакчарский»



Карта баланса углерода на
территории болотных фитоценозов
ключевого участка «Бакчарский»



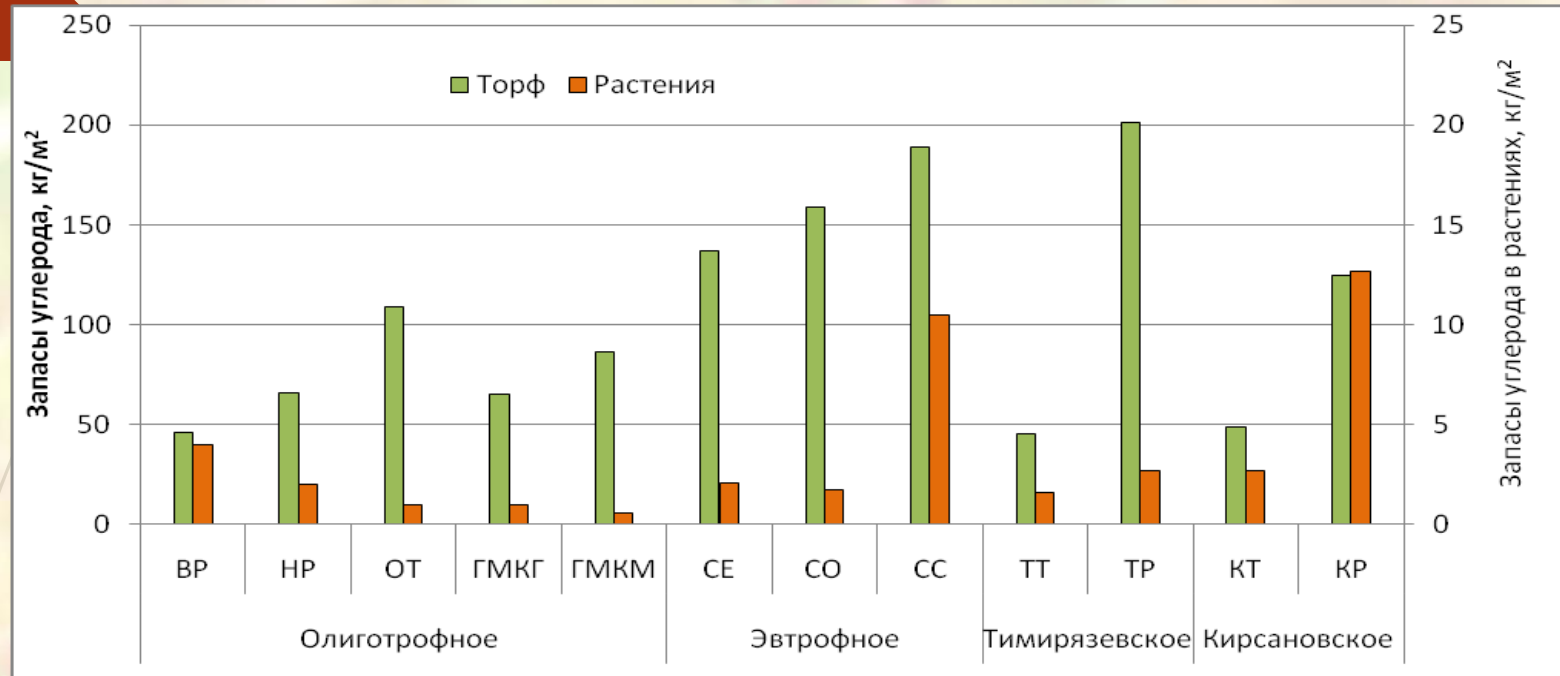
Ежегодное поглощение углерода болотными экосистемами ключевого участка «Бакчарский» площадью 212 тыс. га составляет около 300 тыс. тонн.

Депонирование углерода болотными экосистемами

| | Площадь, км ² | Поглощение углерода, тС в год | Поглощение углерода, гС/м ² в год | Источник |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|--|---|
| КУ «Бакчарский» | 2 120 | 3×10^5 | 51 | Головацкая, 2013 |
| Болота южнотаежной подзоны Западной Сибири | 327 000* | $9,2 \times 10^6$ ** | 28 | *Efremov, Efremova, 2001 **Настоящая работа |
| Болота Западной Сибири | 824 000* | $0,5-2 \times 10^7$ ** | 15–65** | *Ефремов, Ефремова, 2004, **Титлянова с соавт., 1996 |
| Болота России | 1 400 000 | 5×10^7 $3,7 \times 10^7$ | 35,7 26,4 | Вомперский, 1994 Кобак и др., 2012 |
| Болота мира (кроме тропических) | 3 300 000 | $9,57 \times 10^7$ | 29,0 | Gorham, 1991 |

Полученные нами оценки скорости современного депонирования углерода в 1,5–2 раза выше по сравнению с глобальными оценками депонирования углерода болотами России и мира

Запасы углерода в исследуемых торфяных залежах и растительности болот



Средние оценки содержания углерода в исследуемых болотных экосистемах варьируют от 46 по 200 кг/м², в зависимости от мощности торфяной залежи. В среднем для исследуемой территории они составляют 92 кг/м².

Запасы углерода в болотных водах в 200–300 раз ниже по сравнению с запасами углерода в торфе.

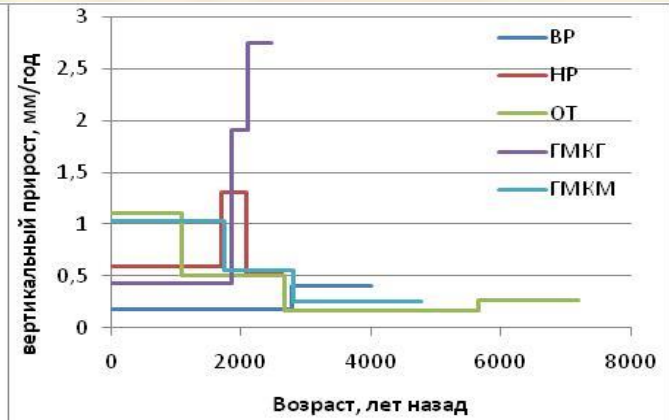
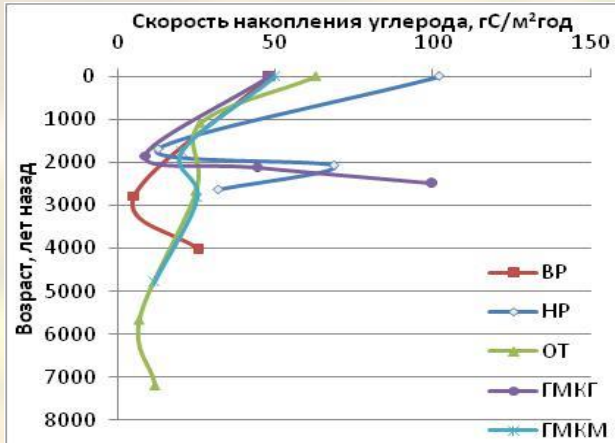
Запасы углерода в виде органического вещества растений в среднем в 50 раз ниже, чем во всей торфяной залежи.

Скорость аккумуляции углерода болотами

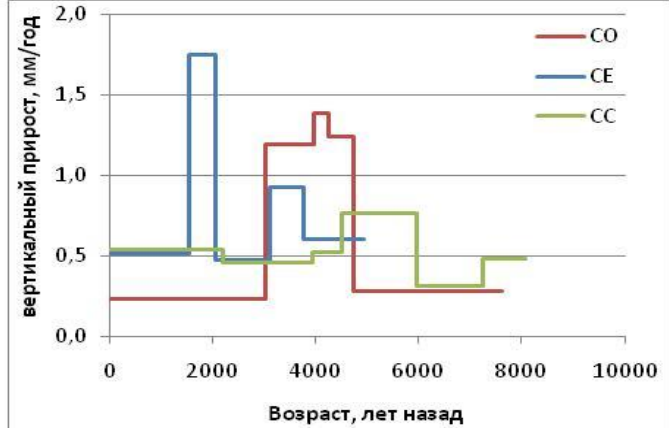
| | Фитоценоз | Средняя скорость аккумуляции С, г/м ² год | Вертикальный прирост торфа, мм/год |
|----------------------|-------------|--|------------------------------------|
| Бакчарское | ВР | 11,39 | 0,25(0,18-0,41) |
| | НР | 24,85 | 0,68(0,53-1,31) |
| | ОТ | 15,18 | 0,42(0,17-1,10) |
| | ГМКГ | 26,41 | 0,97(0,43-2,74) |
| | ГМКМ | 18,12 | 0,61(0,26-1,03) |
| Самара | СЕ | 27,66 | 0,71(0,47-1,75) |
| | СО | 20,85 | 0,49(0,23-1,38) |
| | СС | 23,38 | 0,52(0,31-0,76) |
| Тимирязевское | ТТ | 7,00 | 0,8 |
| | ТР | 24,4 | 0,8(0,27-1,94) |
| Кирсановское | КТ | 16,0 | 0,33 |
| | КР | 6,9 | 0,59(0,35-0,95) |

Скорость аккумуляции углерода болотами

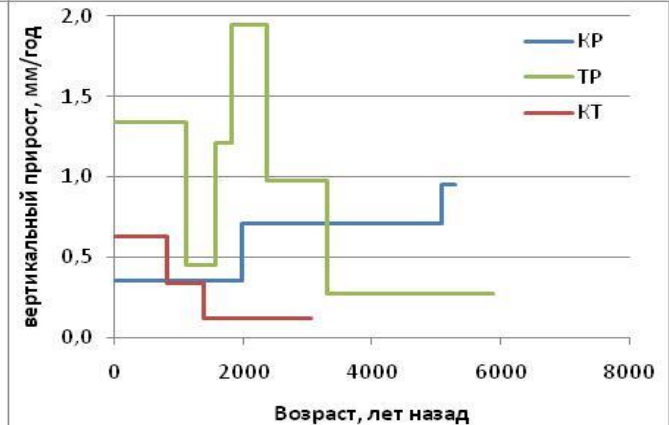
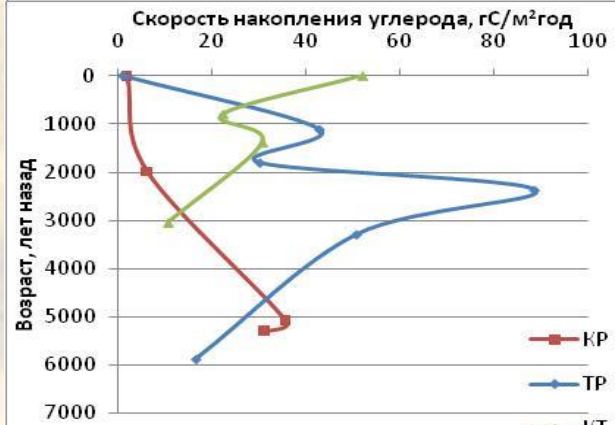
Бакcharское



Самара

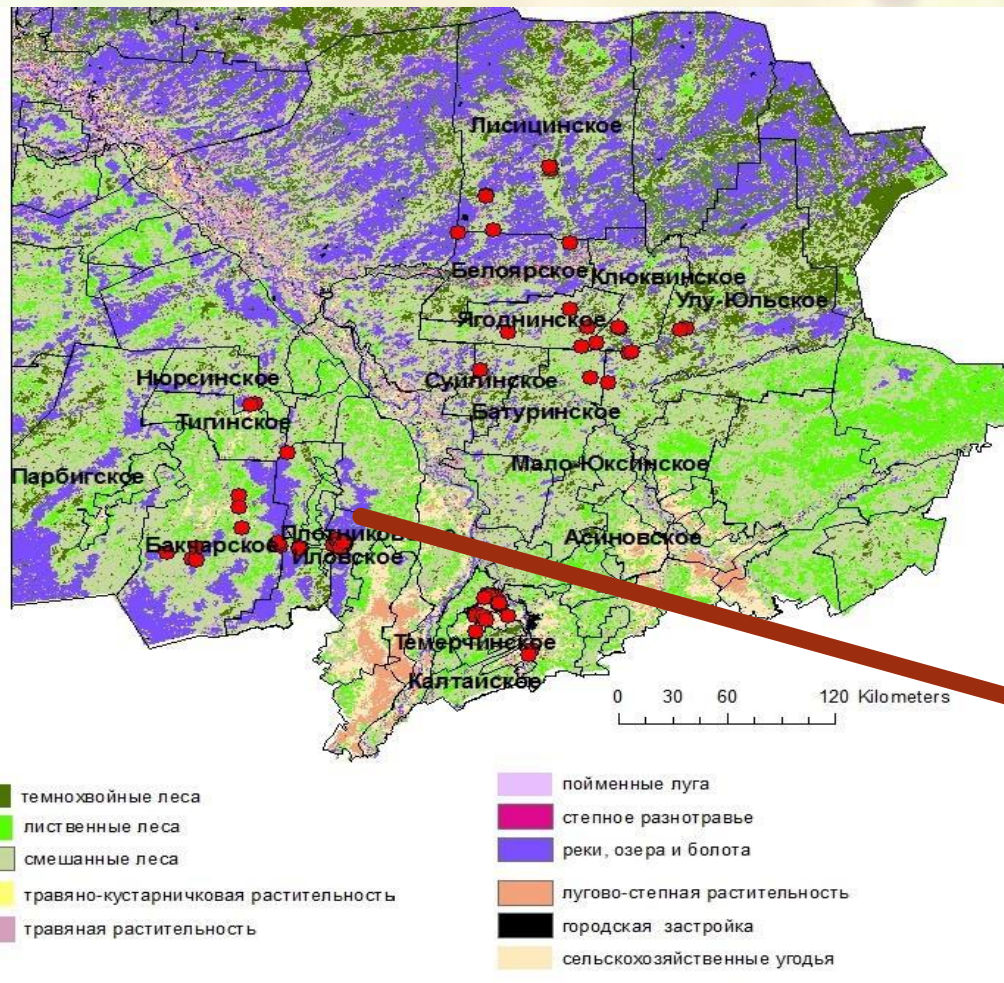


Кирсановское
и Тимирязевское

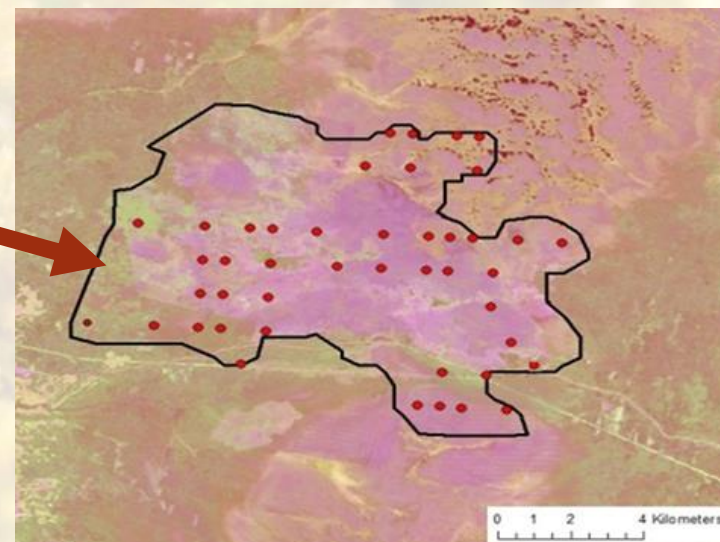


Пожары в лесоболотных комплексах и их последствия

Характеристика пожаров и восстановления гарей лесоболотных комплексов в Томской области по спутниковым данным



Фрагмент космоснимка Landsat от 13.07.2007 г. с контуром гари (пожар 1998 г.) на Иксинском болоте



Карта растительности с обозначенной сеткой лесхозов и точками пожаров 2011-2016 гг.

46 Пожары в лесоболотных комплексах и их последствия
Масса выбросов вредных веществ в атмосферу при пожаре
1998 г. на ключевом участке Икса

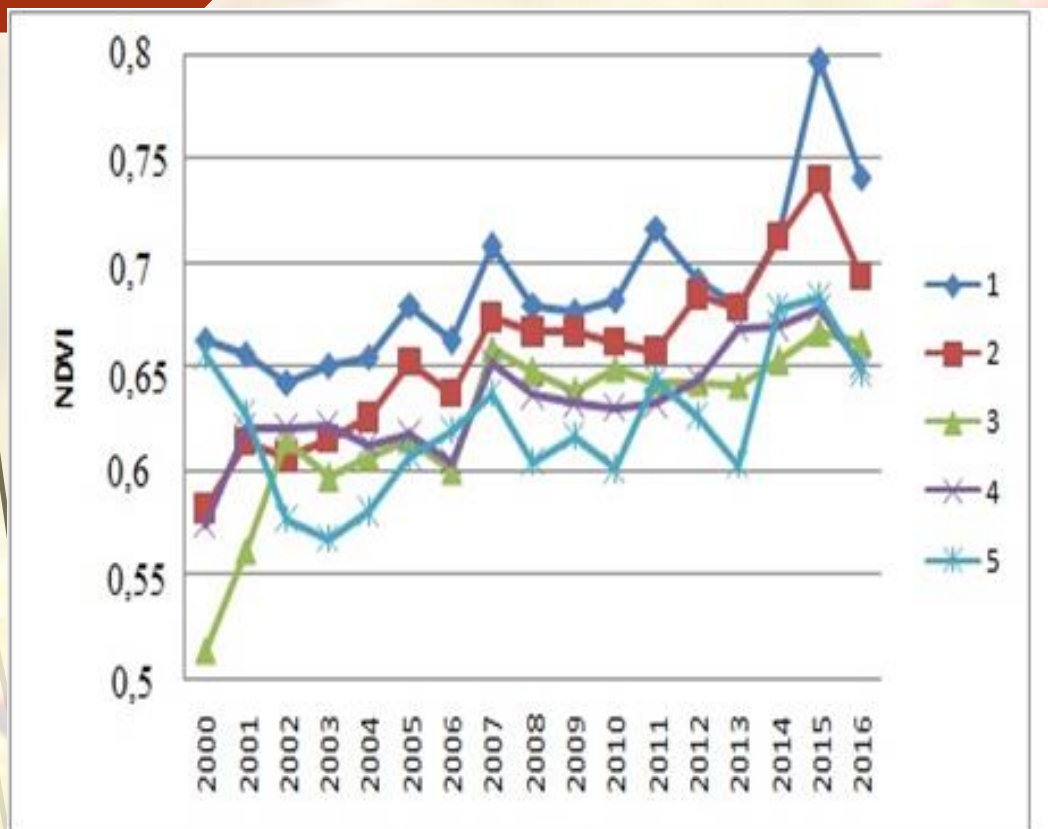
| Микроландшафты | Площадь (км ²) | Масса сгораемых органич. материалов, т | Выброс загрязняющих веществ, т | | | | | | |
|----------------|----------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|---|-----------------|--------------|
| | | | Оксид углерода CO | Диоксид углерода CO ₂ | Оксиды азота NO _x | Сажа | Дым (ультра-дисперсные частицы SiO ₂) | CH ₄ | Озон |
| 1 | 0,4 | 1224 | 165 | 115 | 0,5 | 2 | 67 | 92 | 1,2 |
| 2 | 2,5 | 1248 | 168 | 117 | 0,5 | 14 | 69 | 94 | 1,2 |
| 3 | 1,0 | 480 | 65 | 45 | 0,2 | 5 | 26 | 36 | 0,5 |
| 4 | 5,5 | 1300 | 176 | 122 | 0,5 | 14 | 72 | 98 | 1,3 |
| 5 | 7,0 | 5500 | 743 | 517 | 2,2 | 8 | 303 | 413 | 5,5 |
| 6 | 5,8 | 17748 | 2396 | 1668 | 7,2 | 25 | 976 | 1331 | 17,7 |
| 7 | 6,5 | 35165 | 4747 | 3306 | 14,2 | 49 | 1934 | 2637 | 35,2 |
| 8 | 5,7 | 31692 | 4278 | 2979 | 12,8 | 44 | 1743 | 2377 | 31,7 |
| 9 | 3,0 | 27600 | 3726 | 2594 | 11,2 | 39 | 1518 | 2070 | 27,6 |
| всего | 37,4 | 121957 | 16464 | 11464 | 49,4 | 171 | 6708 | 9147 | 122,0 |

1 – Согра; 2 – Сфагново-осоковые болота (топи); 3 – Грядово-мочажинные болота; 4 – Сфагново-сосновое болото (низкий рям); 5 – Сфагново-сосновое болото (рослый рям); 6 – Заболоченные сфагновые сосновые леса; 7 – Слабозаболоченные сфагновые леса смешанного состава; 8 – Слабозаболоченные зеленомошные болотнотравные леса; 9 – Автоморфные леса

В результате торфяных пожаров в атмосферу выделяется огромное количество углерода, накопленного болотными экосистемами в течение сотен лет. Согласно расчетам потери углерода в этом пожаре в **14 раз** превышают ежегодную аккумуляцию углерода болотами. Кроме того, в результате пожара в атмосферу выделяется большое количество различных химических веществ, которые торф, как природный сорбент, накапливает в себе. Торфяные пожары наносят существенный вред окружающей среде.

Пожары в лесоболотных комплексах и их последствия

Динамика значений NDVI на гари
Иксинского болота



- 1 – высокий рям,
- 2 – низкий рям,
- 3 – грядово-мелкомочажинный,
- 4 – сухостойные гари,
- 5 – осоково-сфагновая топь

Использование индекса NDVI позволило выявить восстановление биомассы растительного покрова на выгоревшем участке Иксинского болота. Быстрое восстановление растительного покрова обусловлено сменой растительных сообществ, появляются виды, активно заселяющие места пожарищ, не типичные для исходных фитоценозов.

Накопление биомассы и наличие сухостоя, а также наличие сети дорог свидетельствует о риске повторного возгорания на ключевом участке Икса.



Спасибо за внимание!