



# Закономерности функционирования болотных экосистем в условиях воздействия природных и антропогенных факторов



***Инишева Лидия Ивановна***

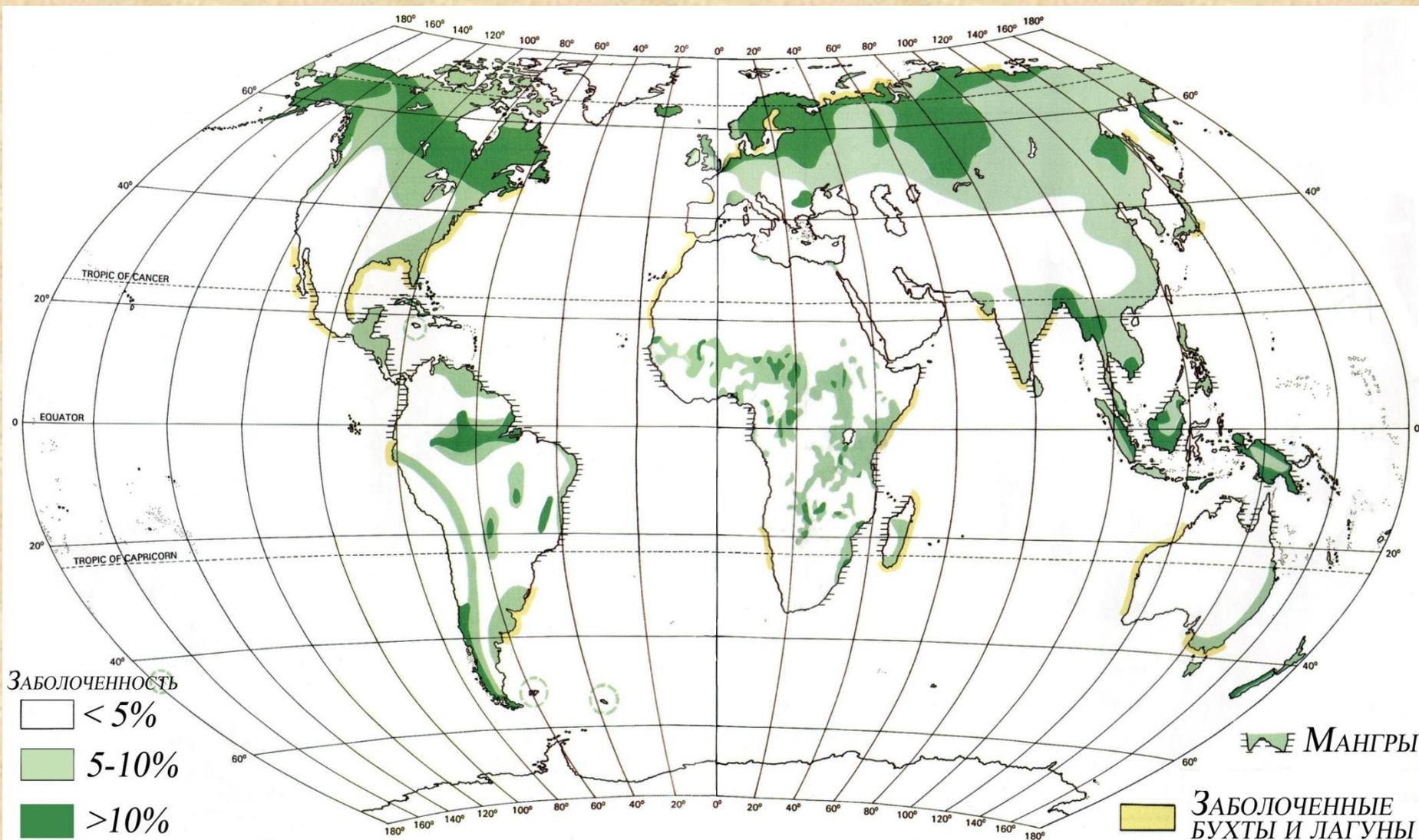
***[inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)***

***<http://ltorf.tspu.ru>***

- **Ботаники и геоботаники** изучают в болотах индивидуальность болотной растительности, а по стратиграфии торфяных залежей – климатические характеристики периода торфонакопления.
- **Геологи** определяют запасы в границах промышленных залежей и называют торфяные болота торфяными месторождениями.
- **Лесники** исследуют болота с позиций улучшения бонитета древостоя и называют их лесными болотами.
- **Почвоведы** – с позиций получения сельскохозяйственной продукции и называют их болотными (торфяными) почвами.
- **Болотные экосистемы = торфяные месторождения = торфяные почвы**



# ЗАБОЛОЧЕННОСТЬ ЗЕМНОГО ШАРА



В мире - 5.0 млн. км<sup>2</sup> (3.5% суши)

В России - 3.69 млн. км<sup>2</sup> (21.6 %)

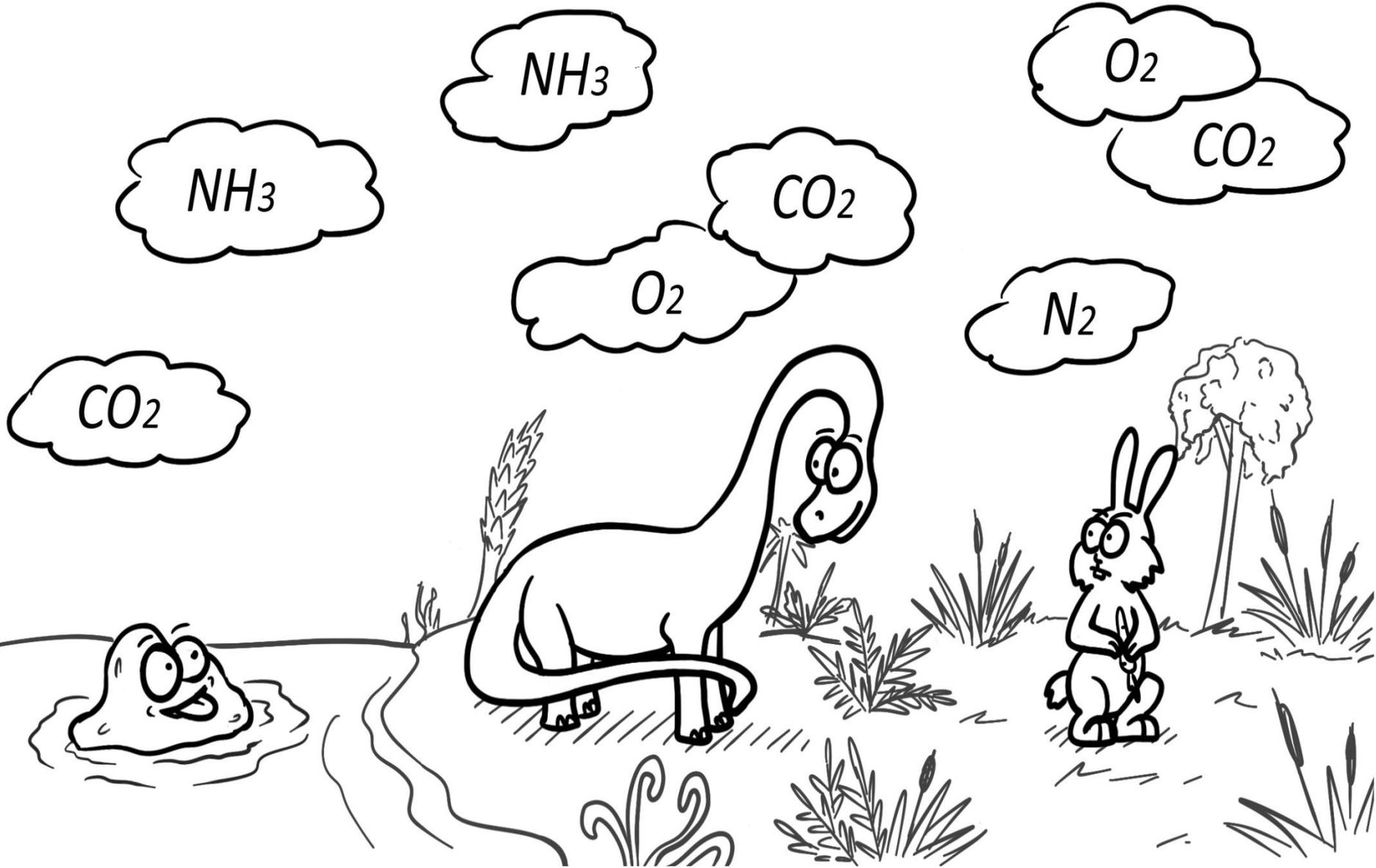
В последние 500 лет добавилось около 0.86 млн. км<sup>2</sup>.

Несомненно, что болотообразовательный процесс – один из главных исторических этапов единого почвообразовательного процесса с момента его появления

Эволюционная история биосферы делится на три основных периода:

- гидро (подводная) более 3 млрд. лет
- атмо (болотная) 175 млн. лет
- литоземная (сухопутная) 160 млн. лет

| Эра          | Геологический период | Начало периода млн. лет | Периоды эволюции биосферы | Отложения твердых каустобиолитов |                |
|--------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------|
| Кайнозойская | Антропоген           | 2                       |                           | Торф                             |                |
|              | Неоген               | 25                      |                           |                                  |                |
|              | Палеоген             | 67                      |                           |                                  |                |
| Мезозойская  | Мел                  | 137                     | Лито-земный               | Бурый уголь                      |                |
|              | Юра                  | 195                     |                           |                                  |                |
|              | Триас                | 230                     |                           |                                  |                |
| Палеозойская | Пермь                | 285                     | Атмо-земный               | Антрацит                         |                |
|              | Карбон               | 350                     |                           |                                  |                |
|              | Девон                | 405                     |                           |                                  |                |
|              | Силур                | 440                     | Гидро-земный              |                                  | Каменный уголь |
|              | Ордовик              | 500                     |                           |                                  |                |
|              | Кембрий              | 570                     |                           |                                  |                |
| Докембрий    |                      |                         |                           |                                  |                |



Гидроземный период

Атмосемный период

Литоземный период

# Заболачивание современных ландшафтов

«Болота наступают на леса, ежегодно занимая в тайге от 8 до 45 тыс. га. При естественном их развитии через 3-5 тыс. лет все леса Западной Сибири, за исключением приречных участков, будут заболочены»  
**(Нейштадт, 1971).**

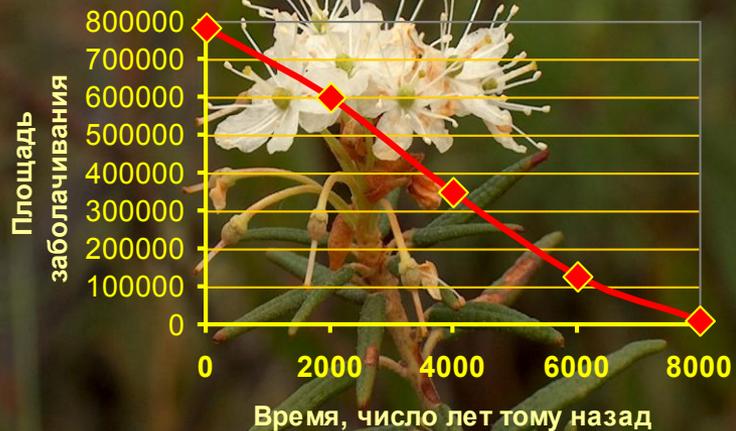
«Климатическое состояние болот может наступить за пределами возраста болота в 50 тыс. лет»  
**(Climo, 1992).**

Еще Алексей Андреевич.Роде (1947) предполагал, что в таежной зоне неизбежным следствием развития почвенного покрова должно быть заболачивание.

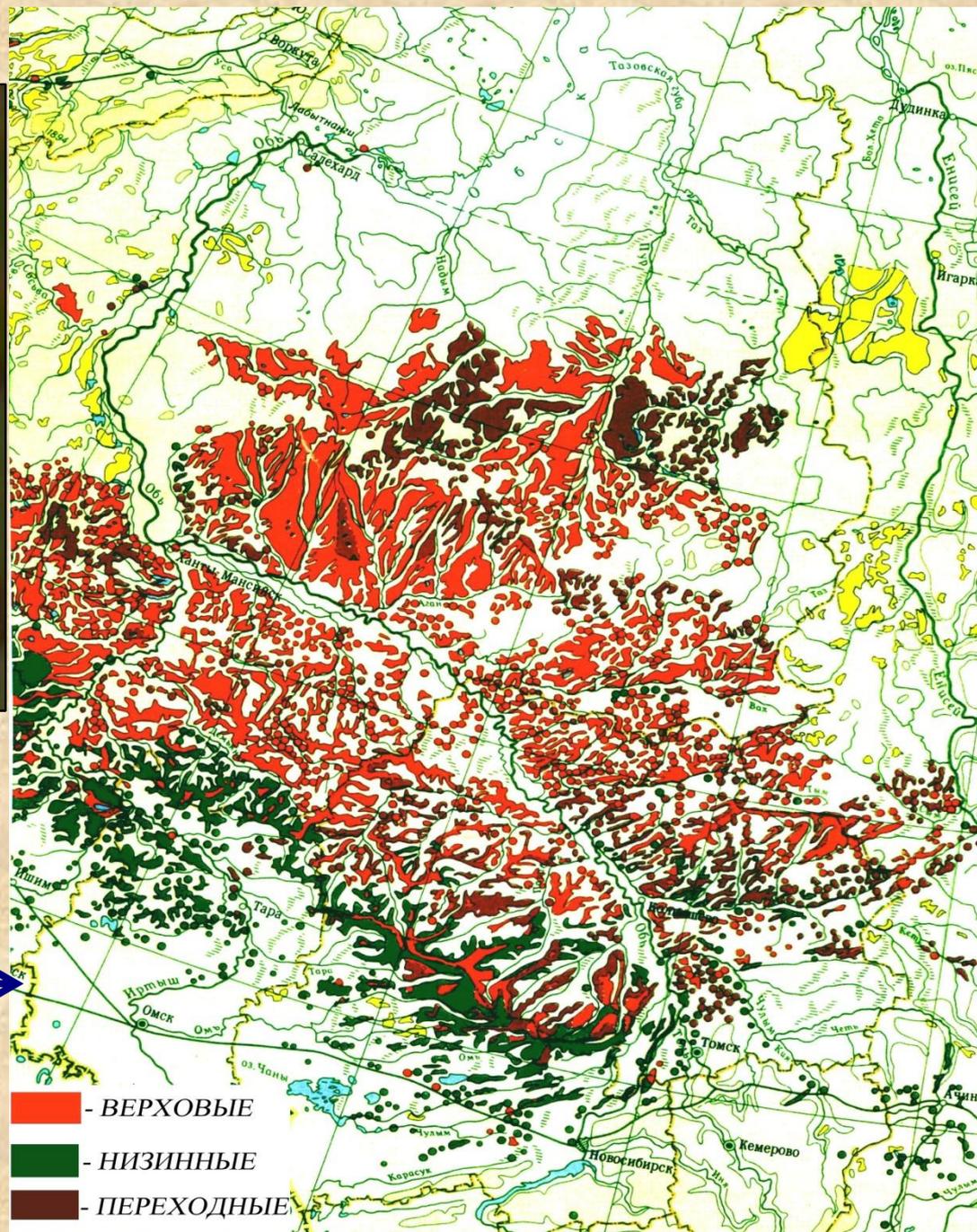
«Через несколько тысяч лет вся переувлажненная территория Западной Сибири будет заболочена и заторфована.»  
**(Малик, 1992).**

**Количественная характеристика интенсивности заболачивания хорошо отражена в работах Института географии РАН (Нейштадт М.И, 1977. Вендров С.Л., Герасимов И.П. Куницын Л.Ф. и др.**

## Развитие процесса заболачивания на Западно- Сибирской равнине, км<sup>2</sup>



## Распространение болот на Западно- Сибирской равнине





Размещение болот в центральной части Западной Сибири в бореальном периоде (9500 -8000 лет назад)

1 – эвтрофные древесно-травяно-моховые и травяно-моховые болота;



Размещение болот в центральной части Западной Сибири в субатлантическом периоде (2500 лет назад – настоящее время)

# Известно:

По мнению И. Н. Скрынниковой торфяная почва – это верхний слой торфа на глубину распространения основной массы корней растений, который периодически подвергается аэрации, и где совершаются процессы разложения растительного опада и образования высокомолекулярных органических веществ. Нижележащие слои торфа, нельзя назвать почвой, так как почвообразовательные процессы здесь не наблюдаются, а сам торф находится в законсервированном состоянии. Этот слой был определен как органогенная порода.

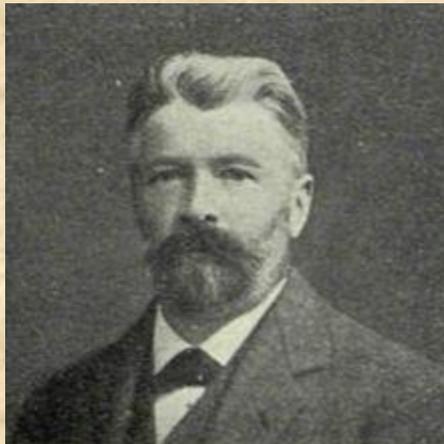
Основополагающими работами многих исследователей (Воробьев П.К., 1965, Иванов К.Е., 1953, 1975, Лопатин В.Д., 1949, Романов В.В., 1961) было показано, что торфяная залежь по биофизическим свойствам делится на 2 горизонта: верхний – относительно небольшой (менее 1 м) и нижний, представляющий основной горизонт торфяной залежи.

**Весь торфяной профиль есть торфяная почва. Древняя почва, подвергшаяся заболачиванию, выполняет роль почвообразующей породы по отношению к формирующейся на ней торфяной почве и в дальнейшем между ними сохраняется тесная генетическая связь. Ранее этот процесс назван **биогенной формой миграции элементов** и описан В. К. Бахновым**



# Такой же точки зрения придерживались:

- К. Д. Глинка, В. Р. Вильямс, Д. Г. Виленский, С. П. Кравков и др.
- **Еще в 1886 г. В. В. Докучаев в классификации почв выделил класс типичных болотных почв с полным их профилем до минеральной породы.**



К. Д. Глинка



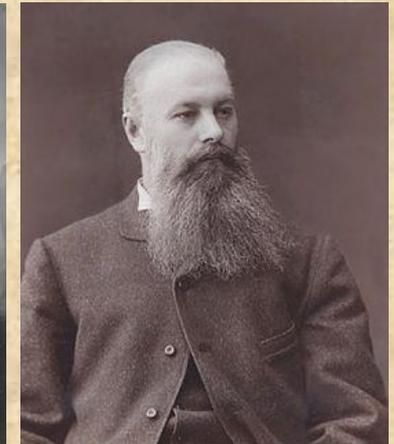
В. Р. Вильямс



Д. Г. Виленский



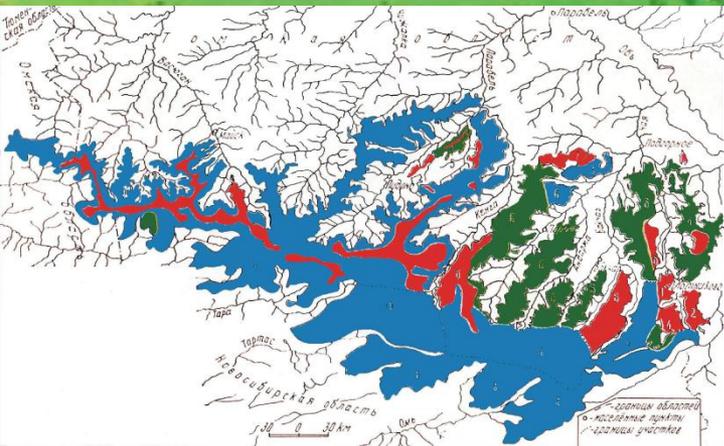
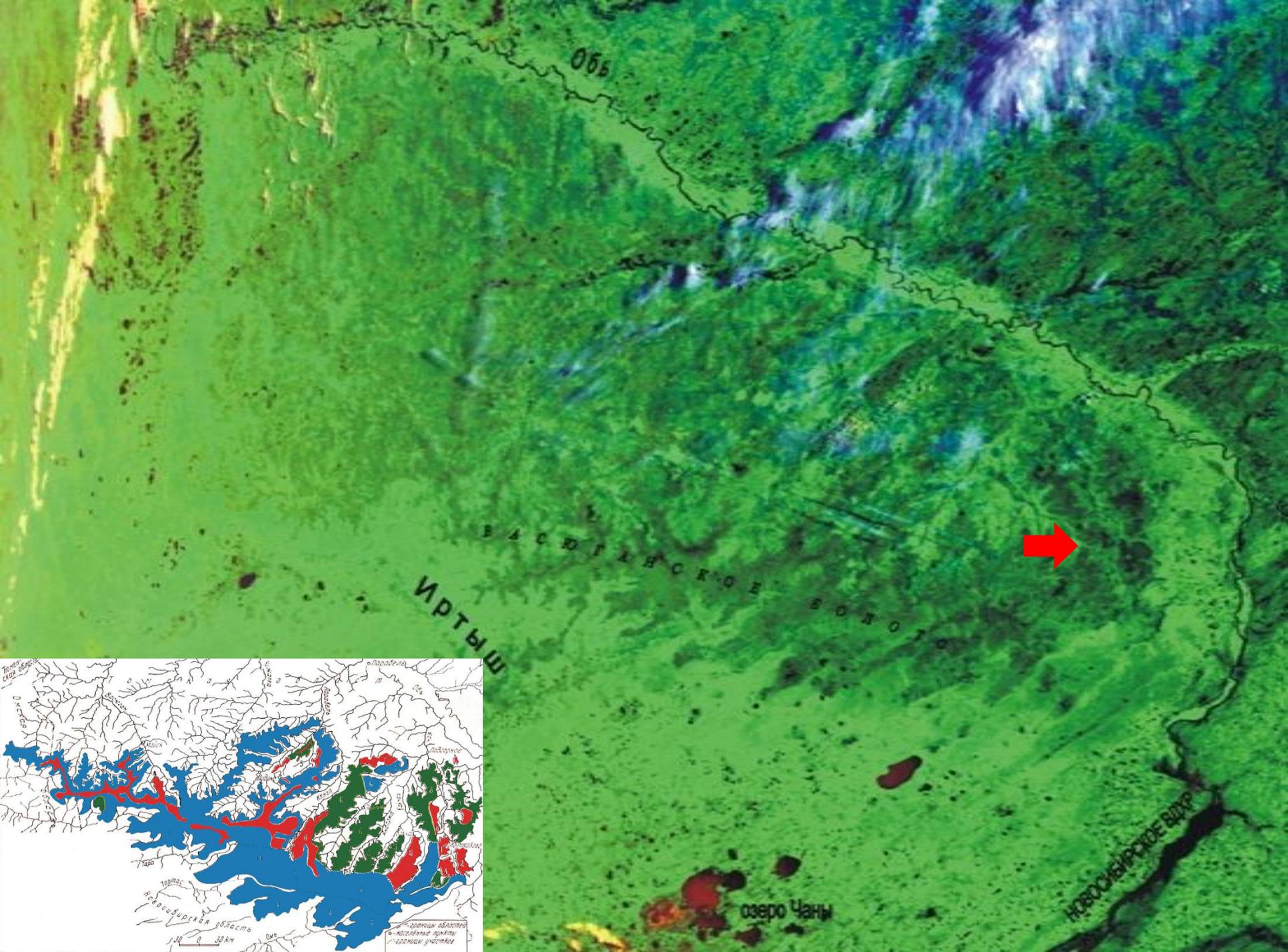
С. П. Кравков



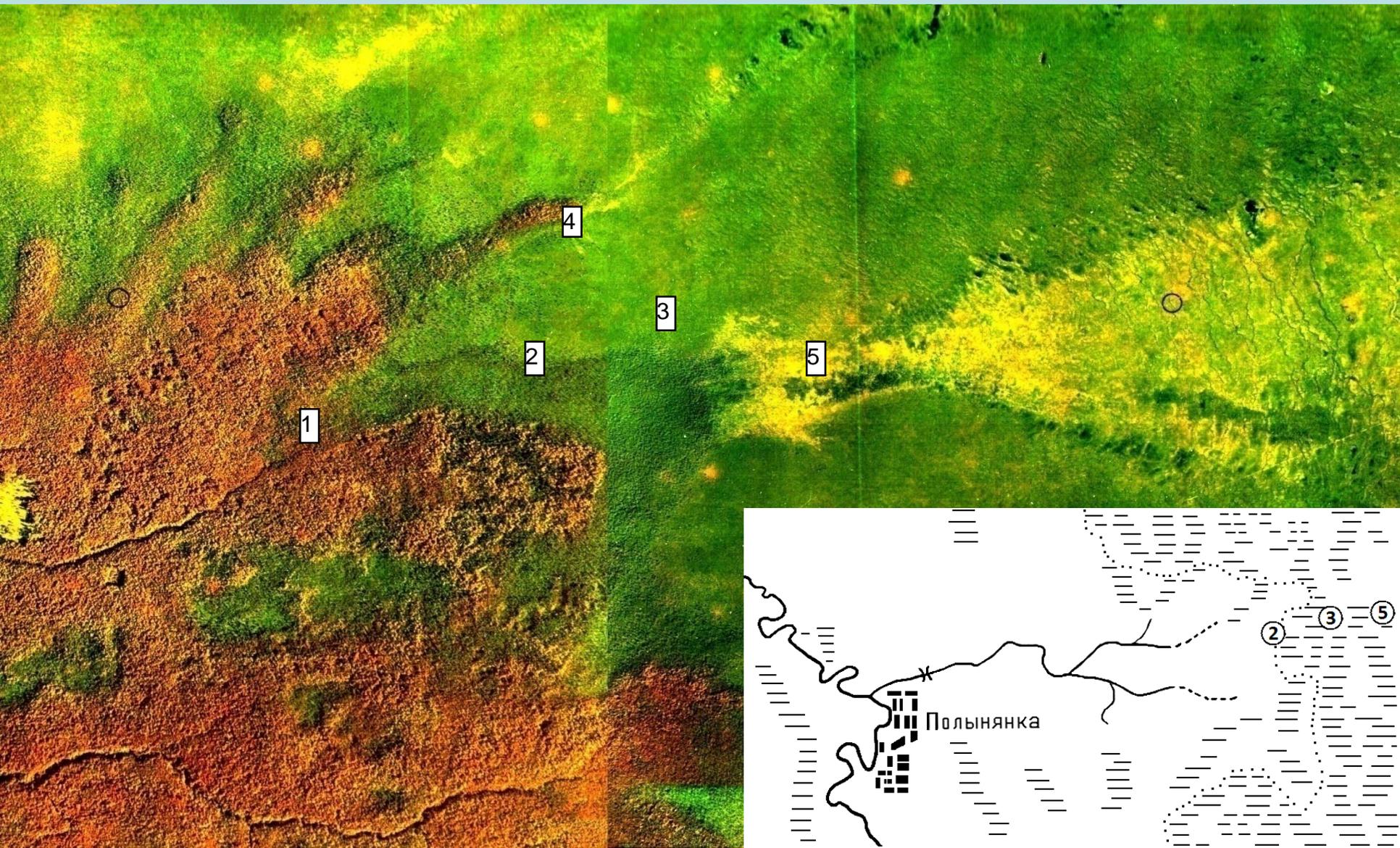
В. В. Докучаев

**Болотные стационары и опорные пункты мониторинга режимов болот в южно-таежной, лесостепной подзоне Западной Сибири и Горном Алтае (длительность изучения режимов – до 19 лет)**

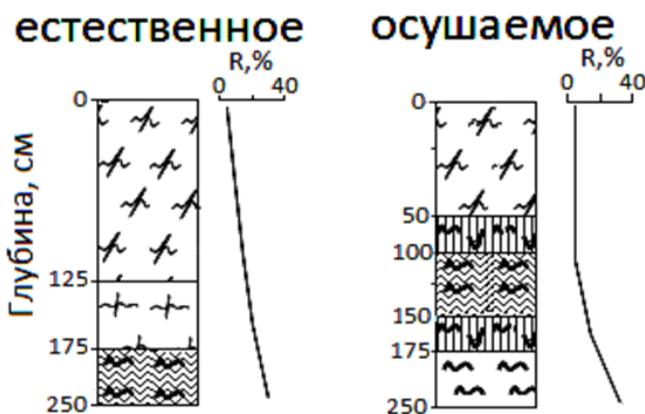
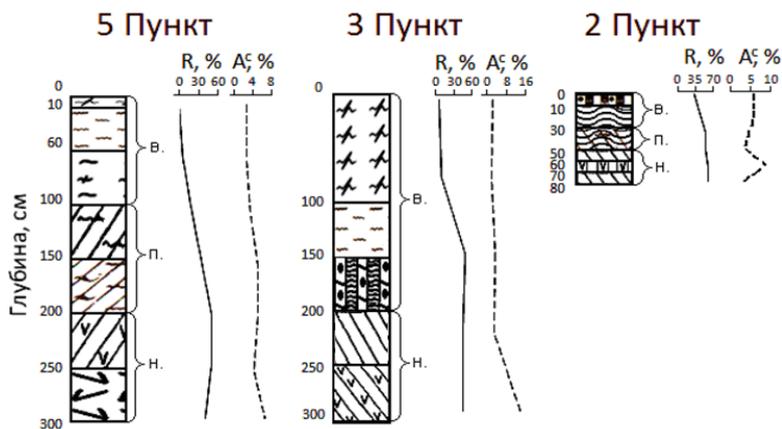




Ландшафтный профиль заложен в пределах водосборной площади р.Ключ. Профиль, протяженностью 800 м, закреплен реперами и обоснован в плановом отношении, выполнена нивелировка поверхности. (аэрофотоснимки)



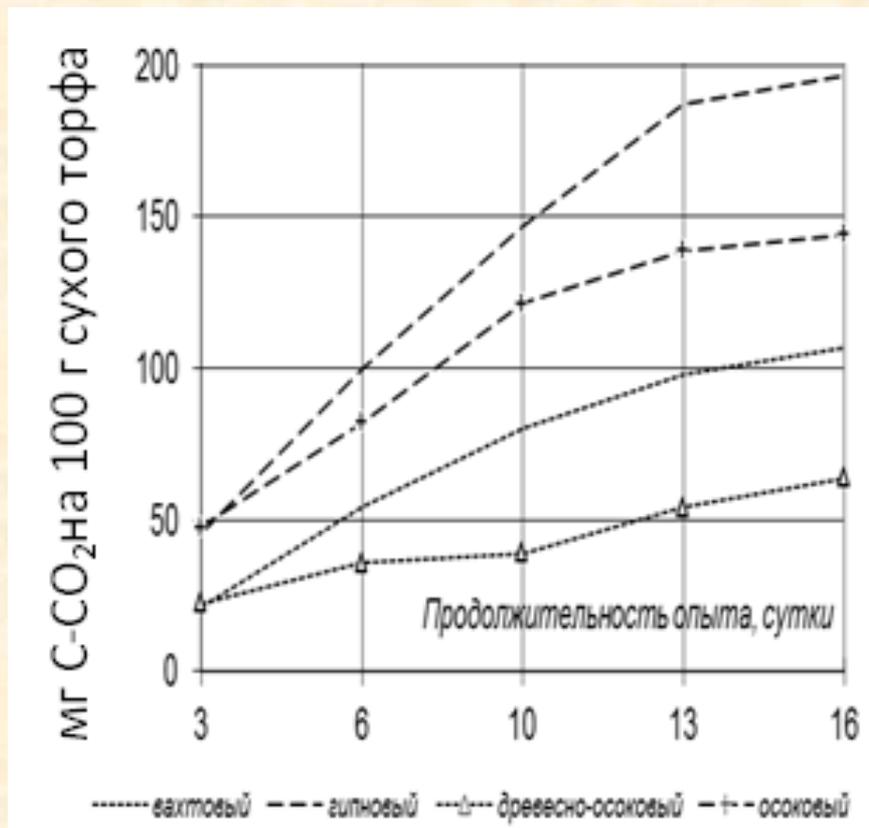
# Ландшафтный профиль



Пункты наблюдения на болотных фитоценозах: 2 - высокий рям; 3 - низкий рям; 5 - осоково-сфагновая топь.

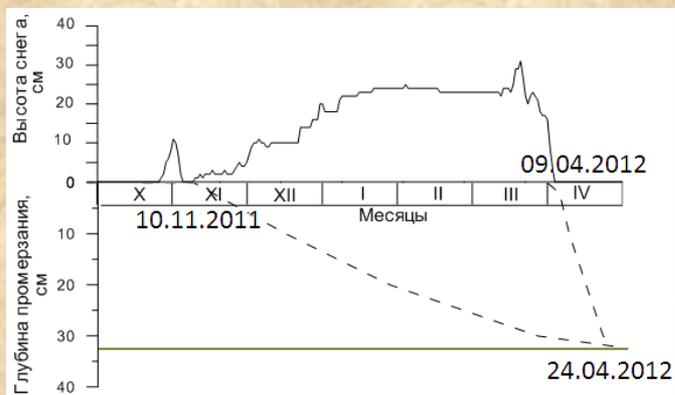
3 - 12 - виды торфа: 3 - низинный осоковый, 4 - низинный древесно-осоковый, 5 - низинный хвощевый, 6 - переходный древесно-сфагновый, 7 - переходный древесно-травяной, 8 - фускум-торф, 9 - магелланикум-торф, 10 - верховой комплексный, 11 - сфагновый мочажинный, 12 - верховой сосново-пушицевый, 13 - медиум торф, 14 - сосново-пушицевый-сфагновый верховой, 15 - травяной низинный, 16 - осоко-сфагновый переходный, 17 - пушицевый верховой, 18 - осоково-пушицевый переходный, 19 - осоковый переходный, 20 - папоротниковый низинный, 21 - древесно-травяной низинный, 22 - сосново-пушицевый верховой, 23 - ангустифолиум торф, 24 - пушицево-сфагновый торф. Типы залежи: В - верховой; П - переходный; Н - низинный. R, % - степень разложения; A<sup>c</sup>, % - зольность.

**Видов торфов 115- 130 с учетом степени разложения и зольности – более 8000 и согласно классику химии и генезиса торфа В.Е.Раковскому химический состав их различен**

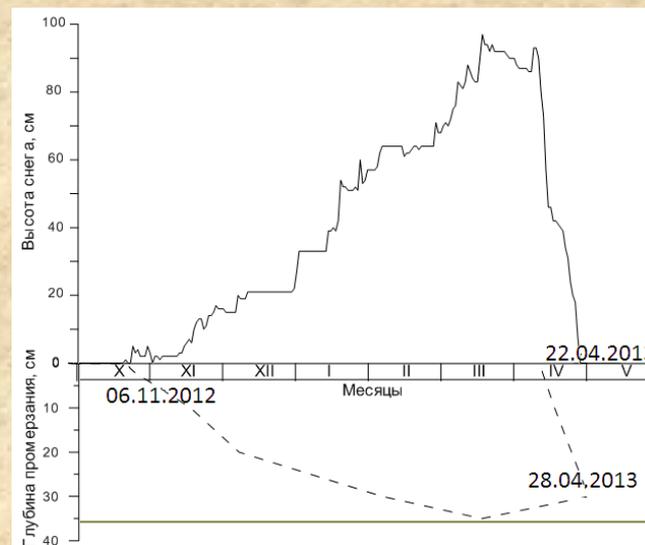


**Свойства торфяных почв определяются, прежде всего, ботаническим составом и степенью разложения торфа, а профиль торфяных почв делится на горизонты, мощность которых определяется однородностью ботанического состава.**

**Кривые кумулятивного потока  $C-CO_2$  при минерализации торфов разного ботанического состава**

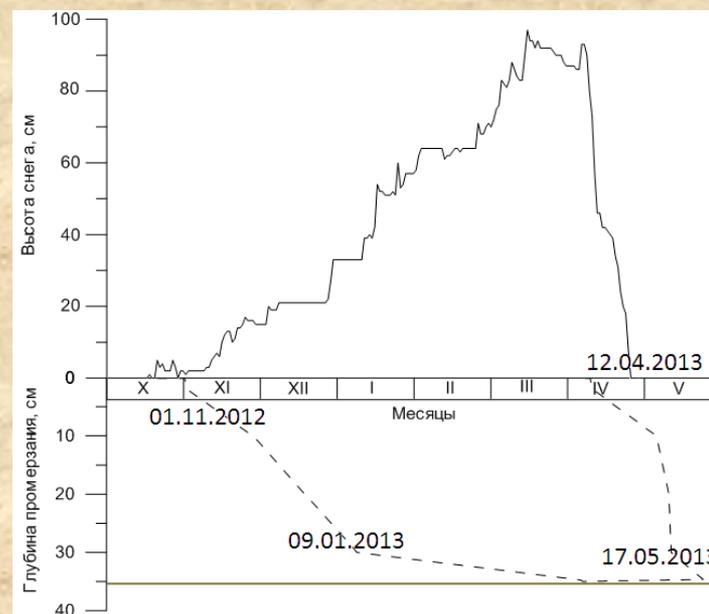


Глубина промерзания ТЗ ЛП, п.3. 2011-2012гг.



Глубина промерзания ТЗ ЛП, п.3. 2012-2013гг

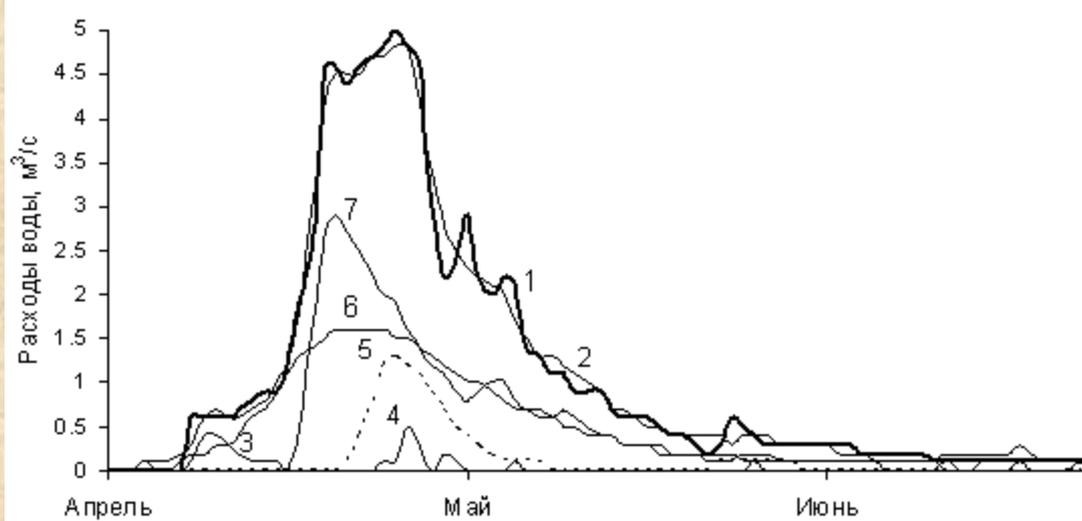
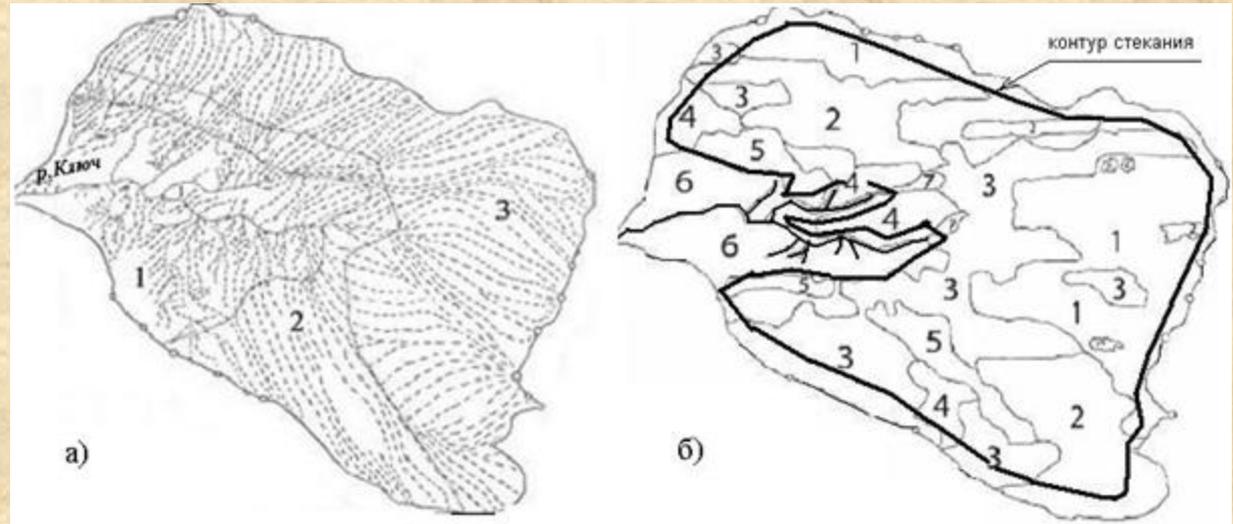
Рассмотренные результаты за 1994-2013 гг приводят к выводу об устойчивом соотношении статистических параметров распределения снежного покрова в основных ландшафтах исследуемой территории. Это позволяет существенно уменьшить объем снегомерных съемок и использовать результаты стандартных снегосъемок, проводимых на сети ГМС и постов Росгидромета, для характеристики снегозапасов при воднобалансовых исследованиях на болотах.



Глубина промерзания-оттаивания ТЗ 5 уч. 2012-2013гг

## Карта линий стекания (а) и укрупнённых типов микрорландшафтов (б) с контуром стекания системы верховых болот в бассейне р. Ключ.

Расчет стока в бассейне р. Ключ осуществлялся на основе ландшафтно-типологической карты масштаба 1:25000. Определение площадей и линейных размеров микрорландшафтов проводилось по цифровым аналогам карты в ГИС ArcView 3.2. На схеме 1а выделены зоны: 1 – зона развитого болотного стока, 2 – зона формирования руслового стока, 3 – зона фильтрационного стока



Расходы воды р. Ключ за 2002 год: 1 - фактические, 2 - рассчитанные суммарные, 3 – с поля, 4 – с осоково-сфагнуовой топи, 5 – с грядово-мочажинного комплекса, 6 – с рямов, 7 – с заболоченного леса

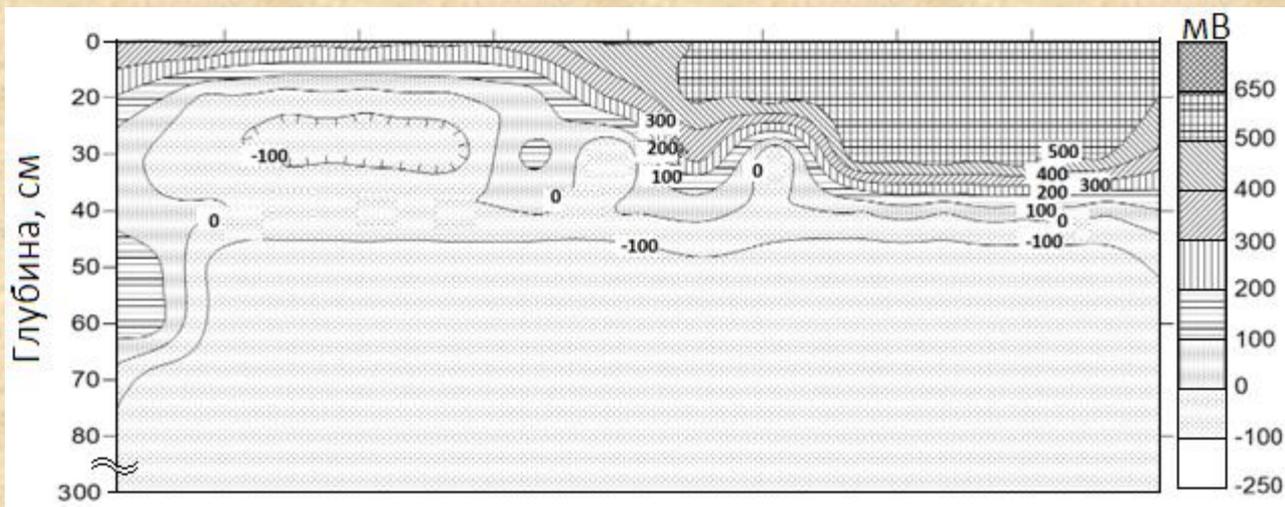
Таким образом, формирование стока с болот представляет суммарный результат процессов снеготаяния, насыщения снега и водоотдачи из него, оттаивания торфяной залежи и фильтрации воды. Формирование второго пика половодья является следствием стока талых вод с заболоченного леса.

# Динамика влагозапасов на ландшафтном профиле, п.2, 3, слой 0-50 см, 2011г.(ГТК 0,8)



**Динамика уровней болотных вод в сухой (2003) год**

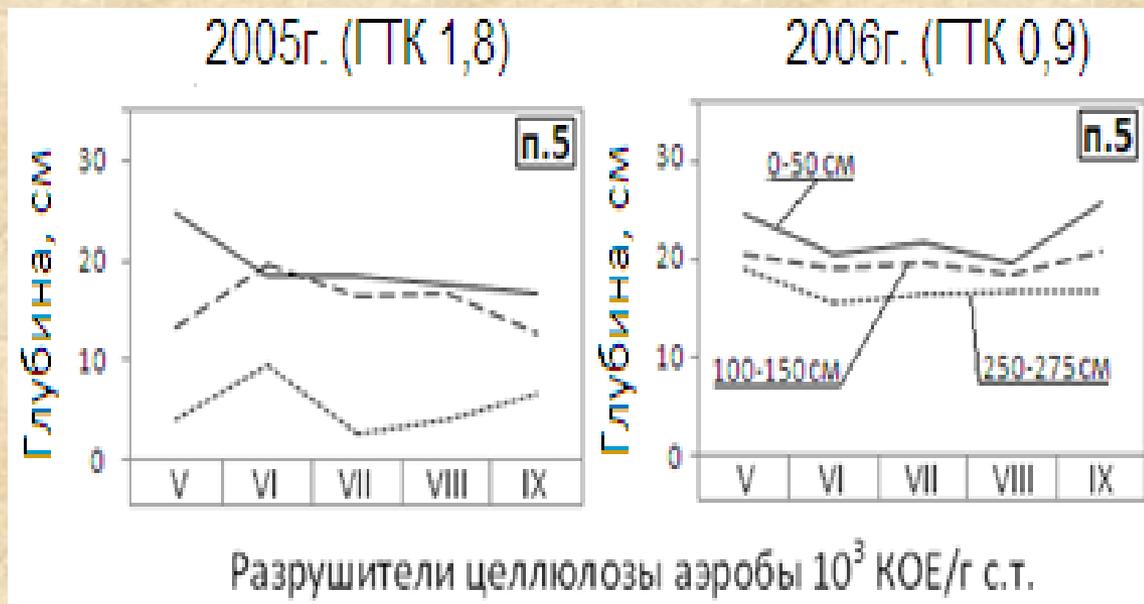
**Динамика ОВП за вегетационный период, 2014г., п. 5, ГТК 0,3**



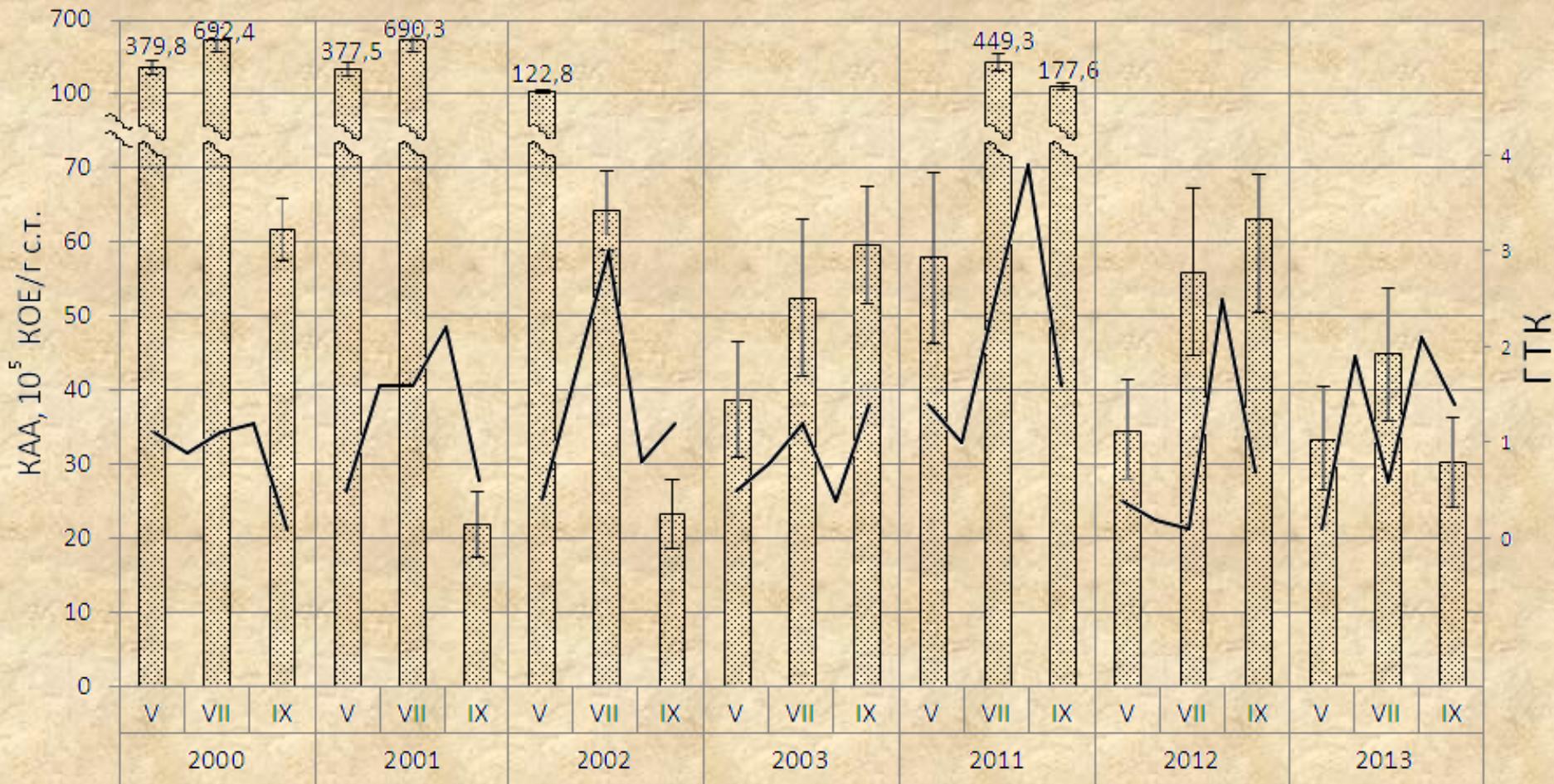
Впервые проведены полнопрофильные микробиологические исследования болот.

Динамика целлюлозоразрушающих микроорганизмов (аэробы) в торфяной залежи во влажный и сухой годы.

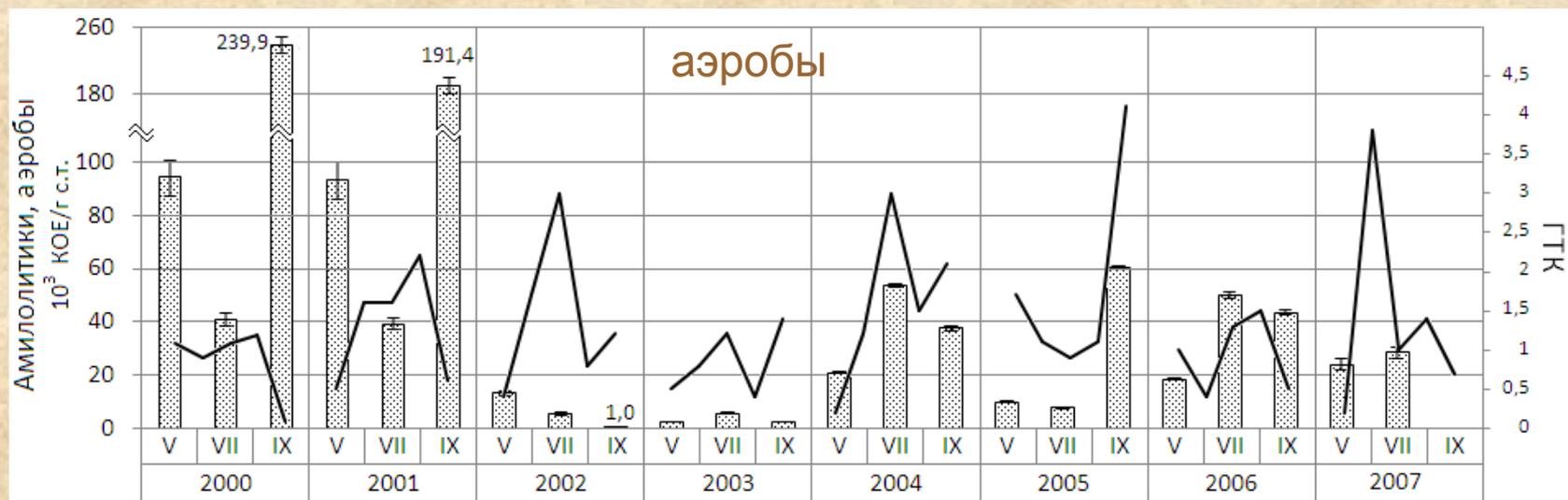
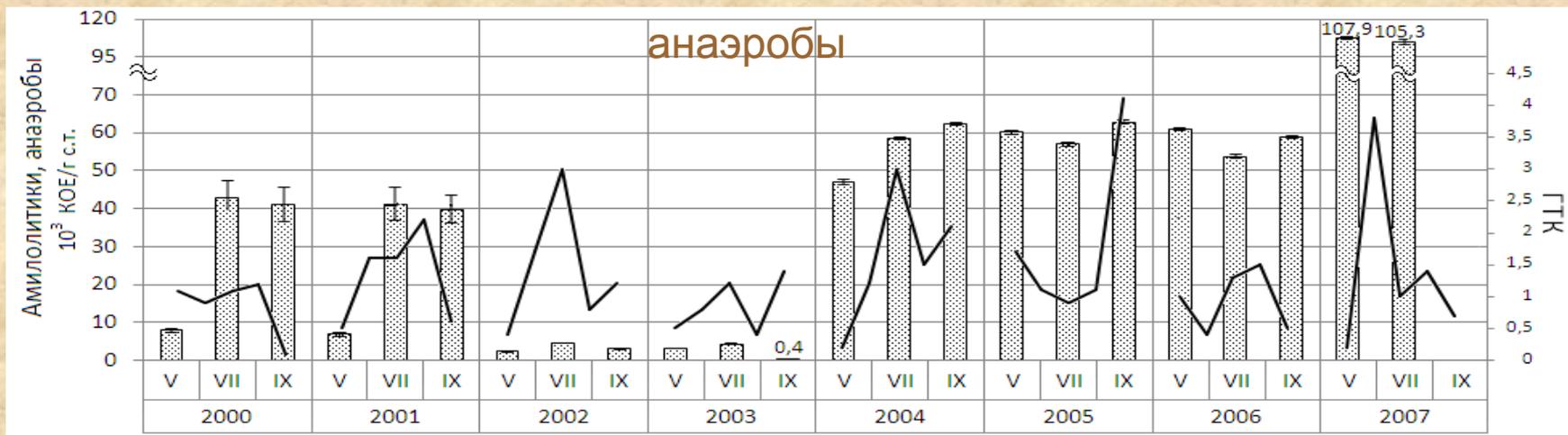
Доказана их высокая активность в разные погодные условия и по торфяному профилю



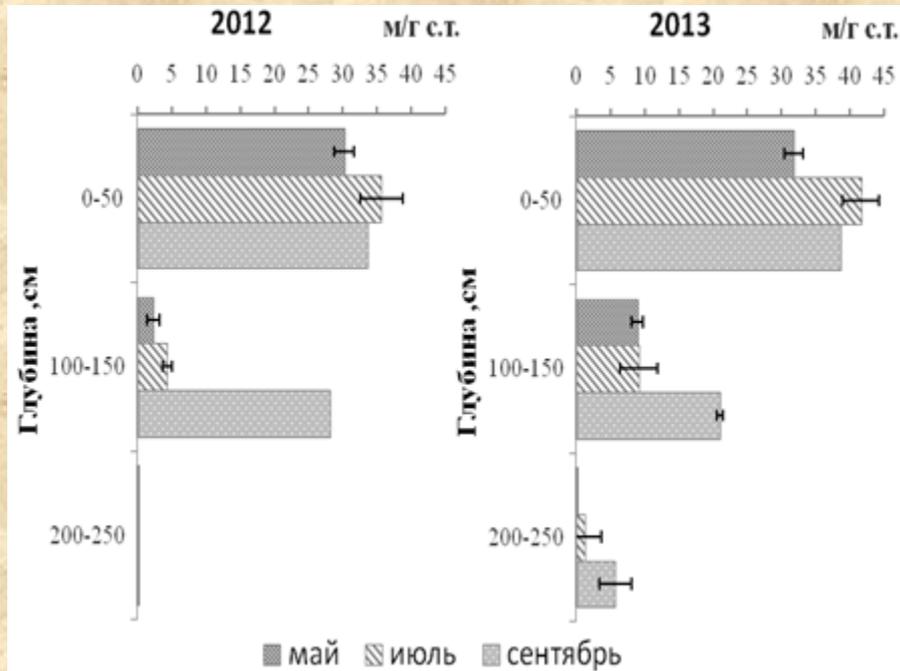
# Микроорганизмов на КАА по годам, в среднем по торфяному профилю, п. 3



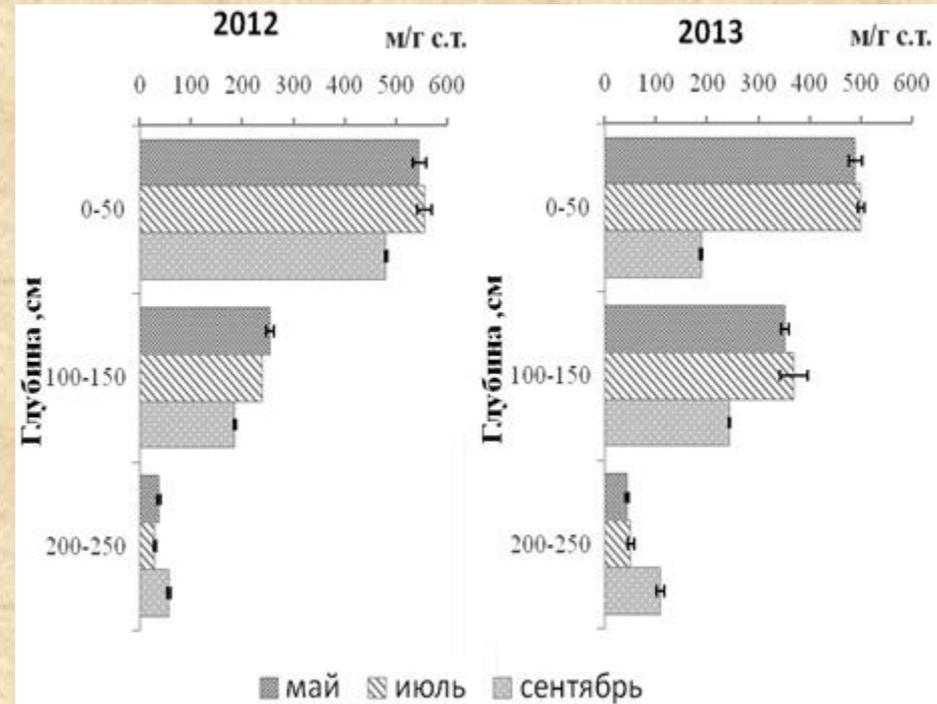
# Содержание целлюлозоразрушающих микроорганизмов – анаэробов и аэробов в среднем по торфяной залежи, п.3



### Динамика грибного мицелия, пункт 3, ГТК 0,8 и 1,2

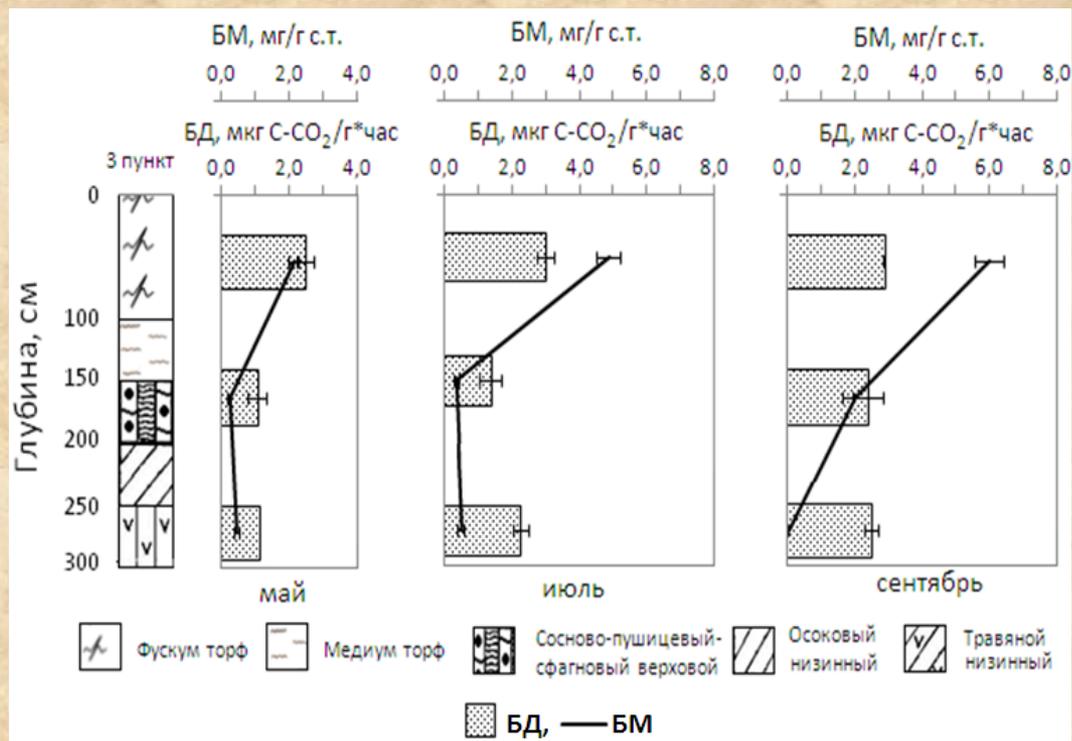
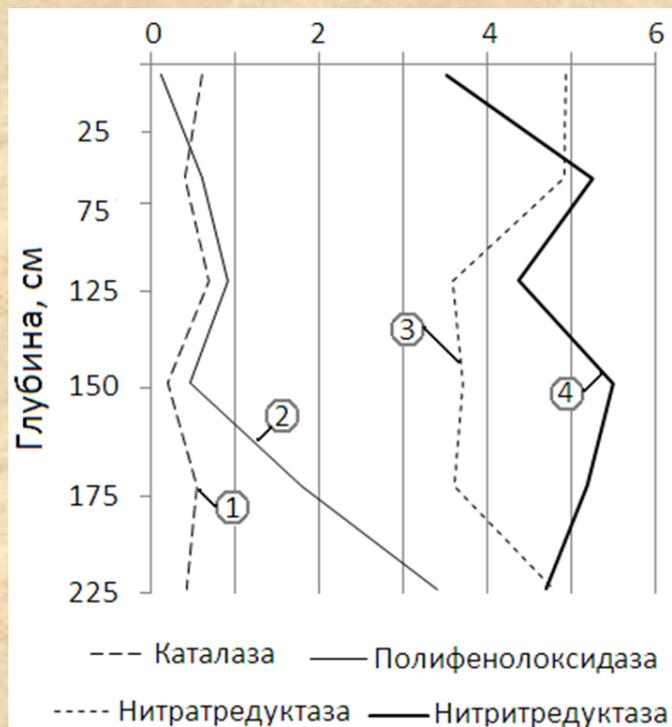


### Динамика актиномицетного мицелия, пункт 3, ГТК 0,8 и 1,2



Исследования бактериальных сообществ в ТЗ пунктов 3 и 2 люминесцентно-микроскопическим методом позволяет выявить как активный компонент микромицетного комплекса – мицелий, так и неактивный компонент – споры

## Метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД), который дает информацию о взаимосвязи величины микробной биомассы, ее дыхательной активности и параметрах экофизиологического статуса микробного сообщества



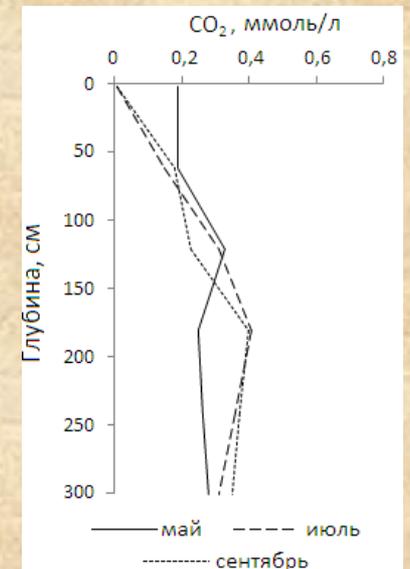
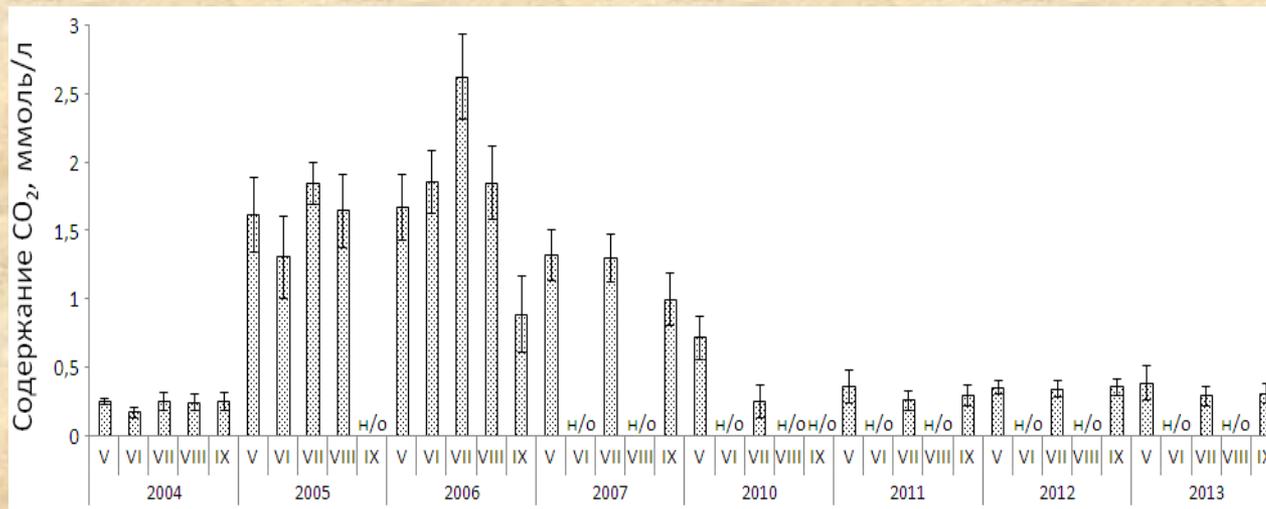
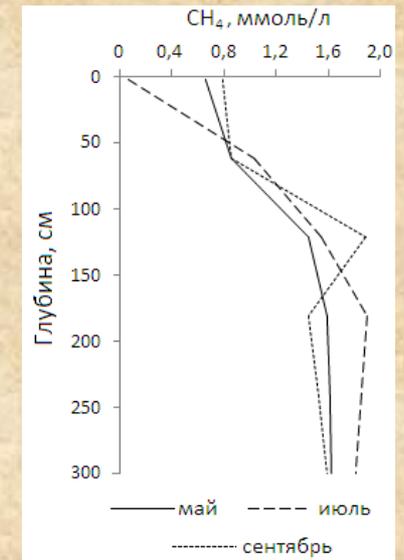
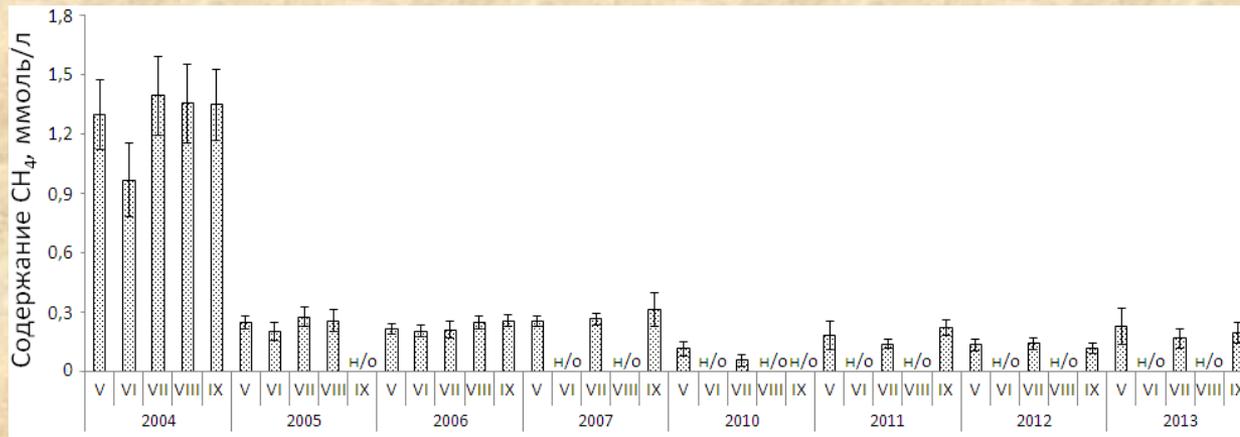
### Динамика микробной биомассы и интенсивности дыхания, 2012 г., пункт 3.

1 – мл O<sub>2</sub> за 2 мин на 1 г; 2 – мг 1,4 п-бензохинона за 30 мин на 1 г;  
 3 – мг восстановленного NO<sub>3</sub><sup>-</sup> за 24 ч на 1 г; 4 – мг восстановленного NO<sub>2</sub><sup>-</sup> за 24 ч на 1 г.

Выявлены закономерности протекания биохимических процессов углеродного цикла в зависимости от генезиса болот. Определены условия и параметры продуцирования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  олиготрофными торфяниками южно-таежной подзоны Западной Сибири



## Динамика CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> среднеглубинные значения, Пункт 3



Динамика CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> в торфяном профиле

## Предполагаем:

- С современных позиций торф – полуколлоидная, высокомолекулярная, многокомпонентная полиморфная гидрофильная система (И.И.Лиштван).
- Кроме того, в свете последних данных, представленных в ряде сообщений (Смагин и др.), вещественный обмен между жидкой, газовой фазой и торфом возможен по всей глубине торфяного профиля.
- Облигатно-анаэробные условия в торфяном профиле отсутствуют.

Полученные результаты опровергают мнение о “стерильности” нижних слоев торфяного профиля и могут быть дополнительным доказательством целесообразности включения в объем понятия “торфяная почва” всего профиля торфяной залежи независимо от ее мощности.



# Элементы углеродного баланса в ландшафтном профиле, г С/м<sup>2</sup> год

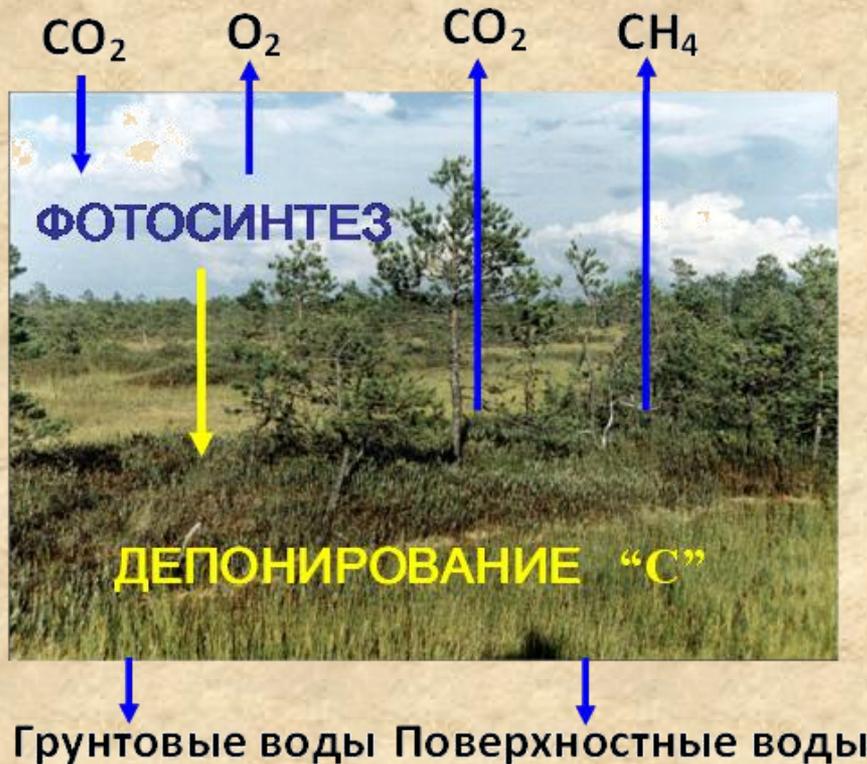
На основании полученных результатов за разные по погодным условиям вегетационные периоды можно сделать вывод о преобладании аккумуляции углерода в торфяной залежи (197,7 г С м<sup>-2</sup>год<sup>-1</sup>) и соответственно прогрессирующем торфообразовательном процессе на ВБ в современный период.

| Годы по ГТК | Поступление                     | Выделение CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub> | Депонирование                   |
|-------------|---------------------------------|---|---------------------------------|
| 0,51        | <u>206-337</u><br>264,6 ± 38,43 | <u>61-80</u><br>69,0 ± 6,96                 | <u>140-276</u><br>195,6 ± 50,40 |
| 1,02        | <u>277-301</u><br>290,3 ± 7,06  | <u>45-111</u><br>72,0 ± 24,46               | <u>166-248</u><br>218,3 ± 32,14 |
| 1,34        | <u>214-245</u><br>227,0 ± 11,37 | <u>31-79</u><br>47,7 ± 19,20                | <u>166-189</u><br>179,3 ± 8,44  |
| Среднее     | 260,6 ± 15,69                   | 62,9 ± 8,94                                 | 197,7 ± 16,24                   |



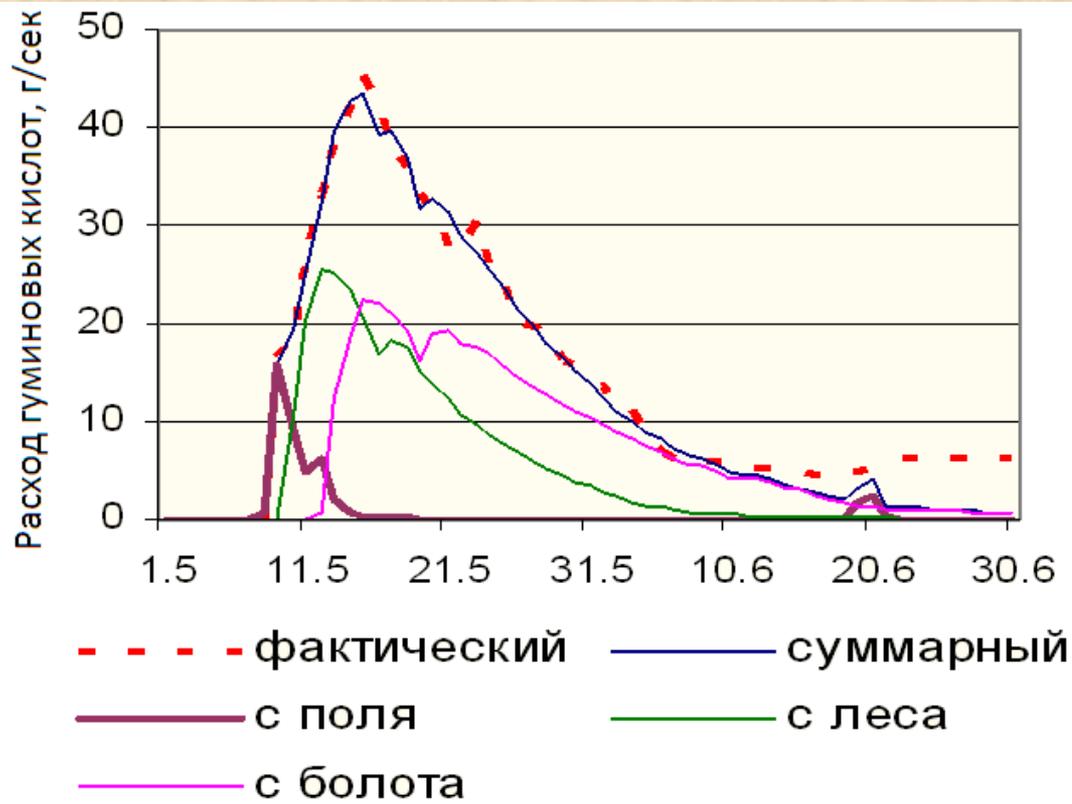
На основании полученных результатов за разные по погодным условиям вегетационные периоды можно сделать вывод о преобладании аккумуляции углерода в торфяной залежи ( $197,7 \text{ г С м}^{-2}\text{год}^{-1}$ ) и соответственно прогрессирующем торфообразовательном процессе на ВБ в современный период.

Третья составляющая углеродного баланса – потери с миграцией болотных вод



- С целью прогноза выноса элементов была разработана математическая модель.
- При разработке математической модели выноса химических веществ с поверхности водосборного бассейна и их движения по русловой сети принималось во внимание следующее:
- Вынос химических элементов в период весеннего половодья и дождевых паводков происходит преимущественно с поверхностным стоком воды, который изменяется не только во времени, но и по площади водосбора. Пространственная неоднородность условий формирования стока учитывается разделением площади водосбора по ландшафтному признаку.





Фактический и рассчитанные гидрографы выноса гуминовых кислот.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения такого подхода к моделированию выноса растворенных веществ с заболоченных территорий.



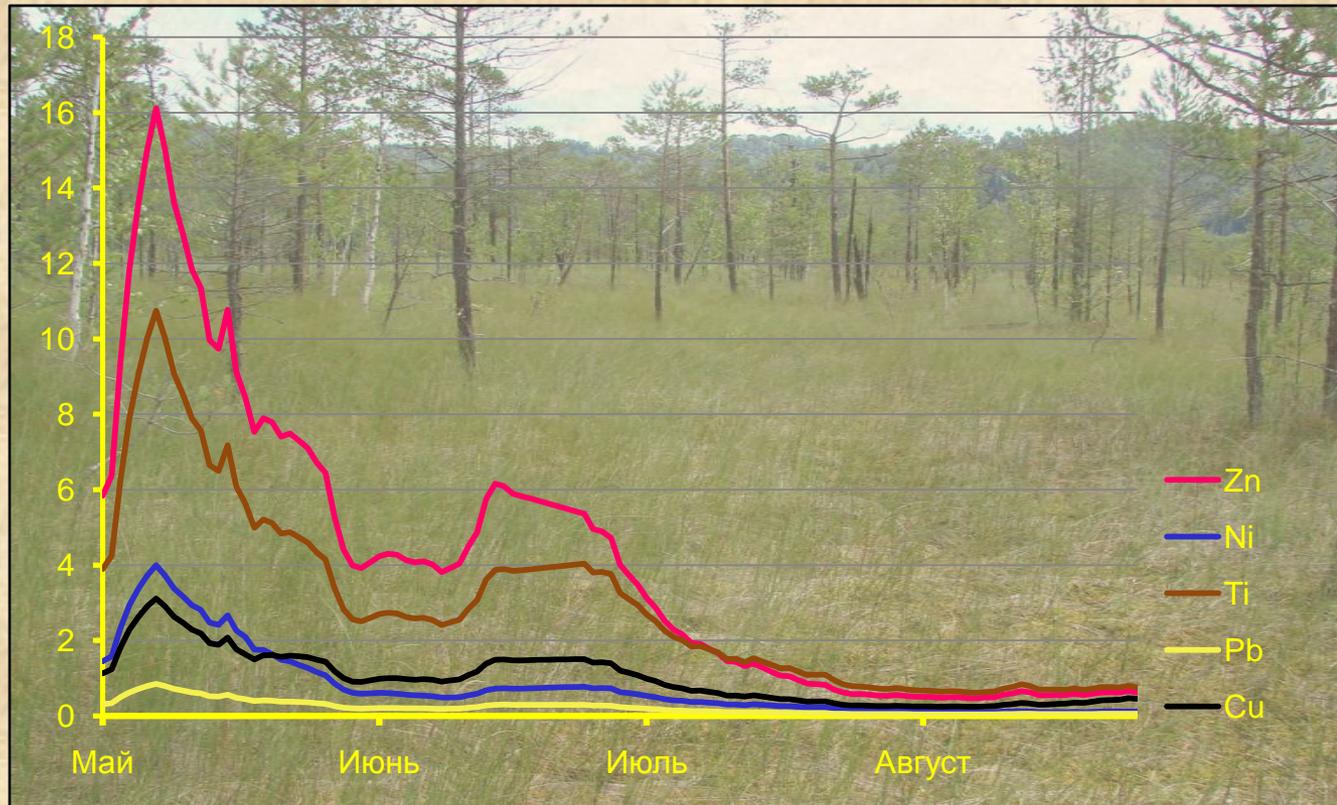
**В результате расчетов по модели за весенне-летний период года с ГТК 1,26 вынос общего углерода в разных соединениях с водосборной площади составил  $7,9 \text{ г С м}^{-2}\text{год}^{-1}$ . или 3,0% NPP (netto primary production)/**



**Важно заметить, что вынос углерода с болотными водами происходит в виде гуминовых веществ, содержание которых достигает в отдельные периоды 98% от общего выноса углерода болотным стоком, при этом наибольшая доля принадлежит углероду фульвовых кислот (7,9 г С м<sup>-2</sup>год<sup>-1</sup> или 7900 кг С км<sup>-2</sup>год<sup>-1</sup>).**



Вынос **Zn, Ni, Ti, Pb, Cu** со стоком с заболоченного водосбора за вегетационный период, мкг/сек



За период половодья вынос элементов со стоком составил: **Pb** –  $2.253 \cdot 10^{-3}$  кг, **Cu** –  $10.037 \cdot 10^{-3}$  кг, **Mn** –  $317.29 \cdot 10^{-3}$  кг, **Zn** –  $41.191 \cdot 10^{-3}$  кг, **Ni** –  $8.151 \cdot 10^{-3}$  кг, **Ti** –  $29.651 \cdot 10^{-3}$  кг.

# Некоторые выводы:

Формирование стока с болот представляет собой сложное сочетание одновременных процессов: снеготаяния, насыщения снега и водоотдачи из него, оттаивания торфяного профиля и фильтрации воды в его толще. За годы исследований влагозапасы в слое 0-50 см на ландшафтном профиле (пп. 5,3,2) ниже линии 0,8 ПВ никогда не снижались и УБВ в среднем крайне редко опускался ниже 20-40 см. Доказано прогрессирующее заболачивание на территории ВБ.

Проведено полнопрофильное биохимическое исследование торфяного профиля олиготрофного болота и доказано, что они являются биохимически активными по всему профилю, но различаются по численности микрофлоры отдельных физиологических групп и ферментов, что свидетельствует о жизнеспособном состоянии микробного комплекса на глубине, и подтверждается газовым режимом. Понятие «деятельный горизонт» относится только к характеристике водного режима болот.

Получены новые знания о биохимических процессах в олиготрофном торфяном профиле; их зависимости от природных факторов (температурный превалирует)

Определено, что в торфяном профиле формируются микромозаичные анаэробно-аэробные условия, вследствие формирования под сплошным поверхностным слоем влаги зон, содержащих газовую фазу и аккумулирующих выделяющийся при газогенерации и биохимических процессах кислород, диоксид углерода и метан.

Болотные экосистемы – важная проблема геохимии вод. Запасы воды в торфяных болотах Западной Сибири достигают 1000 км<sup>3</sup>. Роль ОВ как наиболее распространенного компонента в процессах миграции и концентрирования элементов на заболоченных территориях требует дальнейшего развития и детализации. С целью определения выноса элементов с заболоченного водосбора разработана математическая модель.

***СПАСИБО***

