

**РЕЗУЛЬТАТЫ  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ИБ КарНЦ РАН,  
полученные в 2018 году**

# Научные исследования проводятся в рамках Программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 гг. по 7 направлениям:

- 51 – Экология организмов и сообществ
- 52 – Биологическое разнообразие
- 53 – Общая генетика
- 54 – Почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции)
- 56 – Физиология и биохимия растений, фотосинтез, взаимодействие растений с другими организмами;
- 57 – Структура и функции биомолекул и надмолекулярных комплексов, протеомика, биокатализ;
- 59 – Молекулярные механизмы клеточной дифференцировки, иммунитета и онкогенеза

Всего результатов – 52

Из них важнейшие результаты – 20



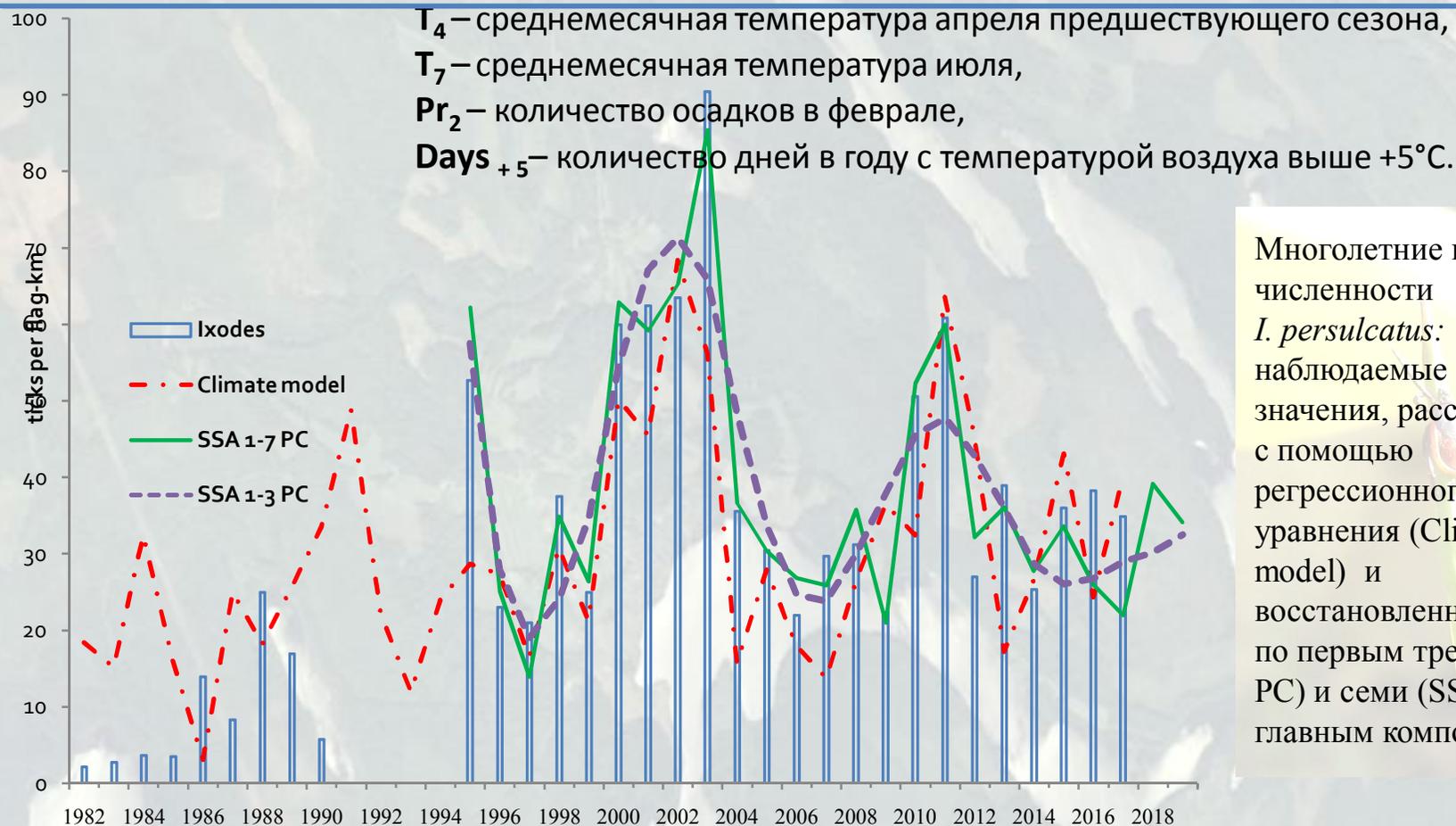
## п. 51 – Экология организмов и сообществ

Анализ результатов рыбоводных работ в Республике Карелия показал, что основными факторами, способствующими натурализации видов в составе рыбного населения озерных экосистем региона, являются сходство экологических условий водоема–донора и водоема–реципиента, наличие свободной трофической ниши и условий воспроизводства вселенцев. Результативными оказались 30% интродукций (6 из 20 вселенных видов) по сравнению с 17% в целом по РФ. Формирование самовоспроизводящихся популяций отмечено в результате расселения в новые водоёмы 5 местных видов рыб (крупная ряпушка, судак, паляя, корюшка, лещ), за исключением хариуса. Из других регионов РФ вселяли 13 видов (сибирский осетр, стерлядь, севанская форель, белорыбица, нельма, горбуша, омуль, чир, муксун, пелядь, чудской сиг, угорь и карп). Относительно многочисленную популяцию в новых условиях обитания сформировала только горбуша, единично встречаются стерлядь, сиг и карп. Остальные виды в водоемах вселения не отмечены.



## п. 51 – Экология организмов и сообществ

Анализ многолетней (35 лет) динамики численности *Ixodes persulcatus* в Карелии позволил выявить основные метеорологические факторы (температура и осадки предшествующего сезона), определяющие наблюдаемые изменения. Получено регрессионное уравнение:  $N_{\text{ticks}} = (4.71 T_4) + (4.17 T_7) + (0.8 Pr_2) - (0.43 \text{ Days}_{+5})$ ,  $R=0.92$ ;  $R^2=0.84$ , где

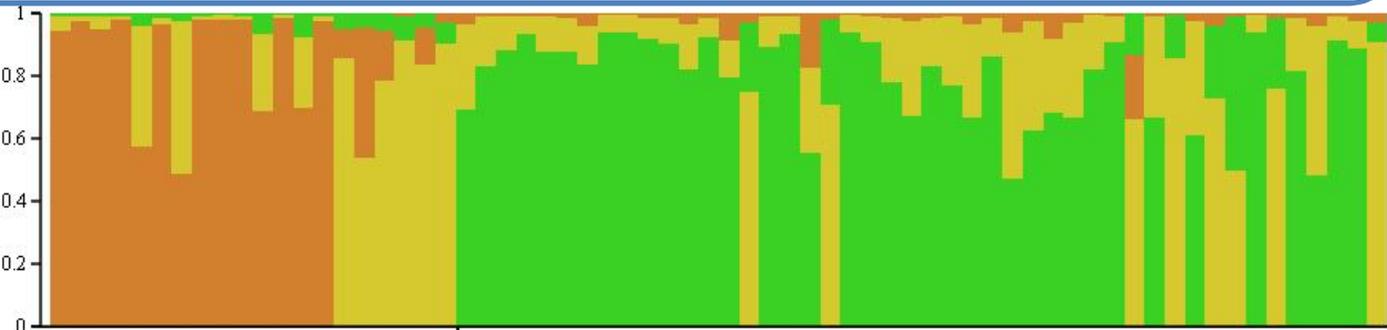


Многолетние изменения численности *I. persulcatus*: наблюдаемые значения, рассчитанные с помощью регрессионного уравнения (Climate model) и восстановленные в ССА по первым трем (SSA 1-3 PC) и семи (SSA 1-7 PC) главным компонентам.

Выявленные зависимости могут послужить основой среднесрочного прогноза численности *I. persulcatus* в Карелии.

Генетические исследования (микросателлитный анализ) популяций хищных млекопитающих Северо-Запада Российской Федерации показали, что население бурого медведя *Ursus arctos* L. Кольско-Карельского региона дифференцировано на 3 генетических кластера («карельский», «кольский» и «переходный»), географически группирующихся в соответствии с территориальной принадлежностью.

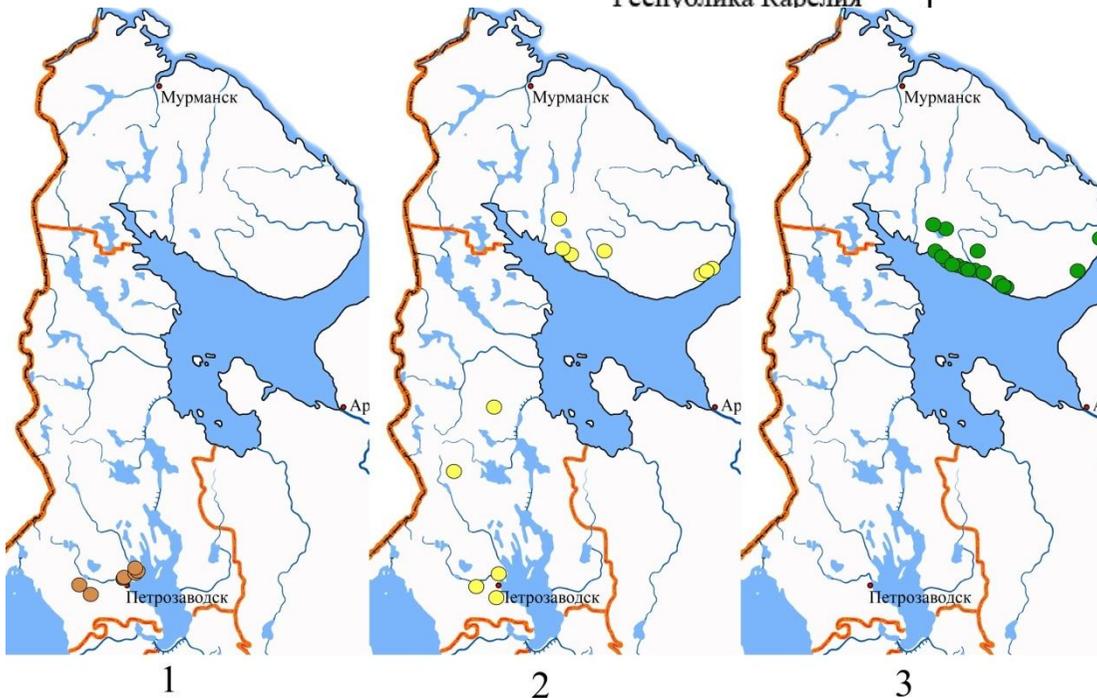
Структура популяции  
бурого медведя  
Кольско-Карельского  
региона



Республика Карелия

Мурманская область

Территориальное распределение  
генотипов по идентифицированным  
кластерам



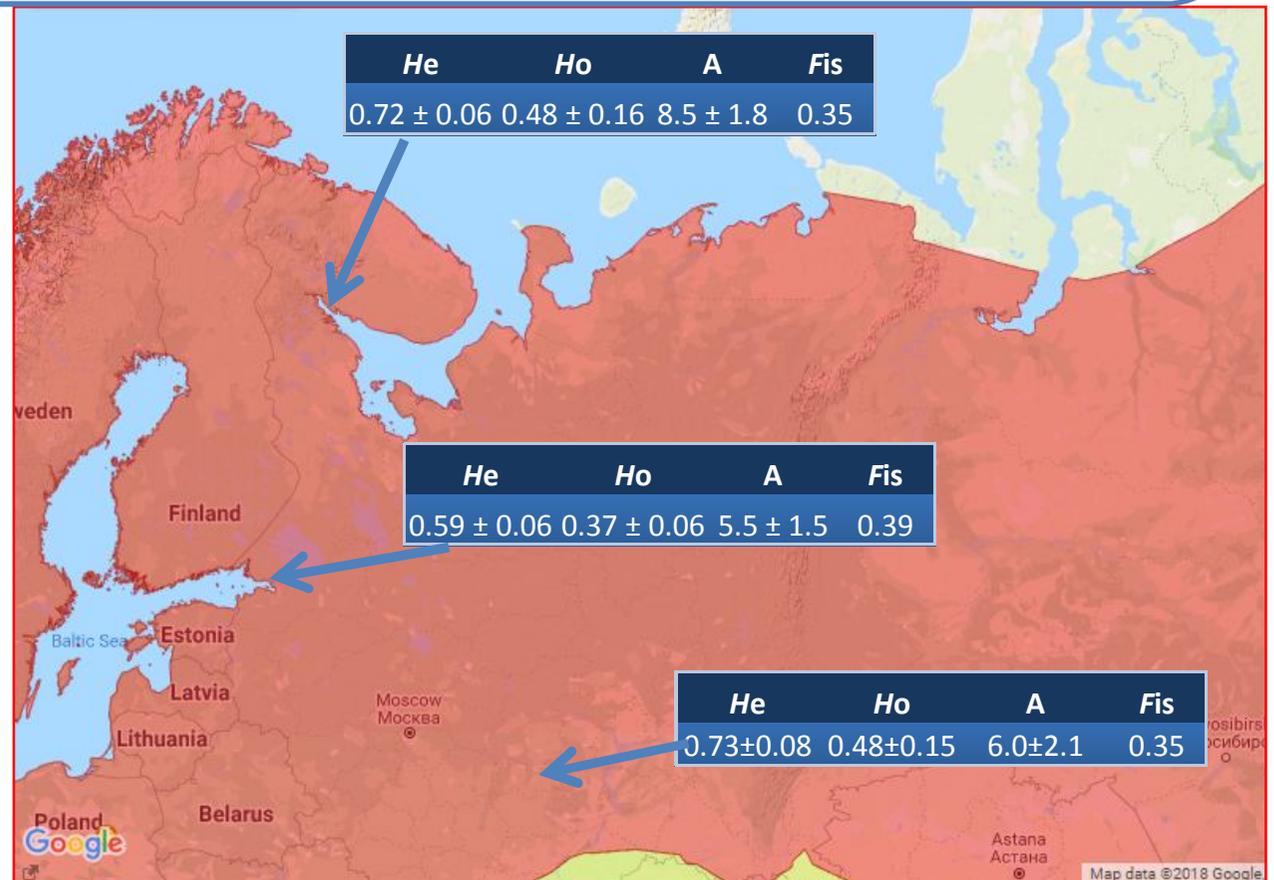
Медведи. Фото: К. Тирронен

## п. 51 – Экология организмов и сообществ

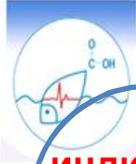
Изучение генетического разнообразия популяций подвида *Phylloscopus trochilus acredula* в разных частях гнездового ареала в Европейской части Российской Федерации с использованием микросателлитного анализа, показало, что минимальные показатели генетического разнообразия ( $A$ ,  $H_o$ ,  $H_e$ ) отмечены в центральных частях обследованного ареала, тогда как максимальные их значения зарегистрированы в зоне экологического субоптима на периферии гнездового ареала. Очевидно, что более высокая степень генетического разнообразия краевых популяций, обеспечивает экологическую пластичность и устойчивость вида к менее стабильным условиям периферии ареала.



Пеночка-весничка. Фото: М. Матанцева



## п. 51 – Экология организмов и сообществ



**Показана особо важная экологическая роль липидов и их жирнокислотных компонентов в индикации качества гонад, готовности рыб к нересту и успешному икрометанию при исследовании биохимического статуса печени и гонад взрослой трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) из трех нерестилищ Белого моря. Трофический фактор является доминирующим в этих процессах.**

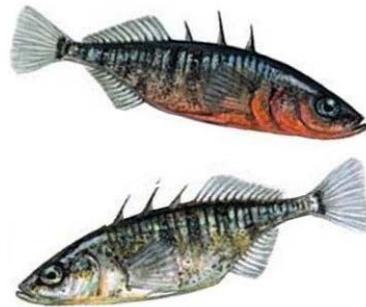
Несмотря на то, что образование гонад и, во многом, «определение» сроков нерестового хода у самок имеет место еще в зимние месяцы, формирование возрастной структуры и окончательное созревание ооцитов, готовых к оплодотворению, происходит именно на последних этапах их преднерестового развития (в период нагула) в условиях (прежде всего, трофических), сложившихся в тех или иных нерестилищах.

**Обнаруженный в исследовании относительно высокий уровень общих липидов в гонадах колюшки может косвенно указывать на то, что развитие ооцитов происходит достаточно быстро и при высоких скоростях метаболизма, определяющего синтез и накопление желтка, состоящего из липидов и белков, и, в конечном счете, формирование метаболически активной икры.**

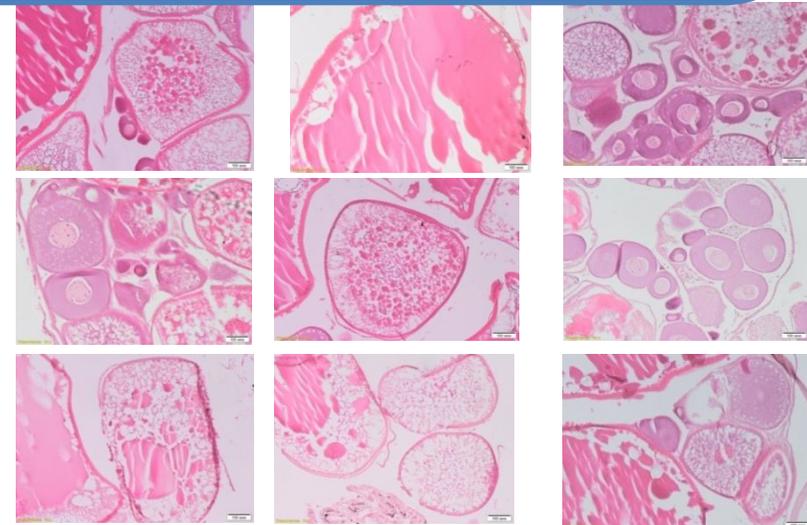
Результаты гисто-морфологического анализа гонад самок свидетельствуют о гетерогенности самок по качеству гонад, готовности к нересту и о порционном вымете икры.



Район исследования



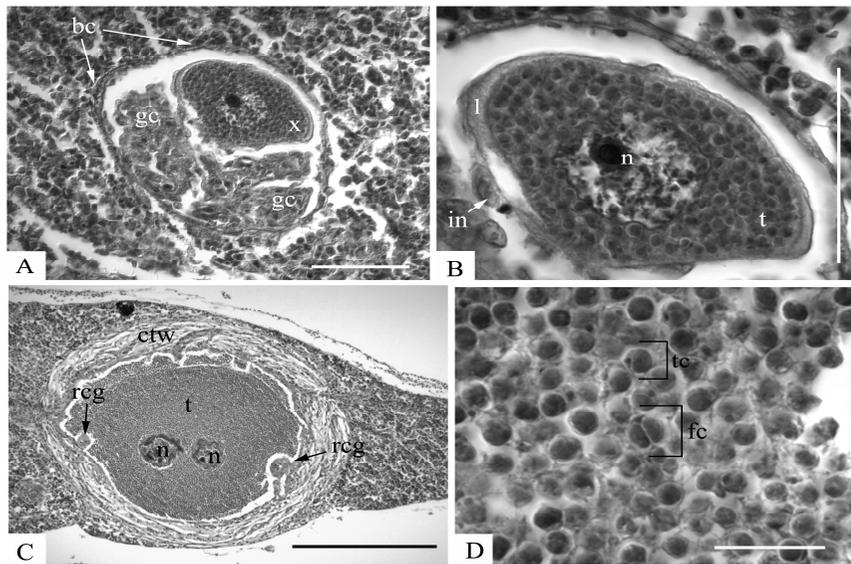
Объект исследования –  
колюшка трехиглая  
(самец и самка)



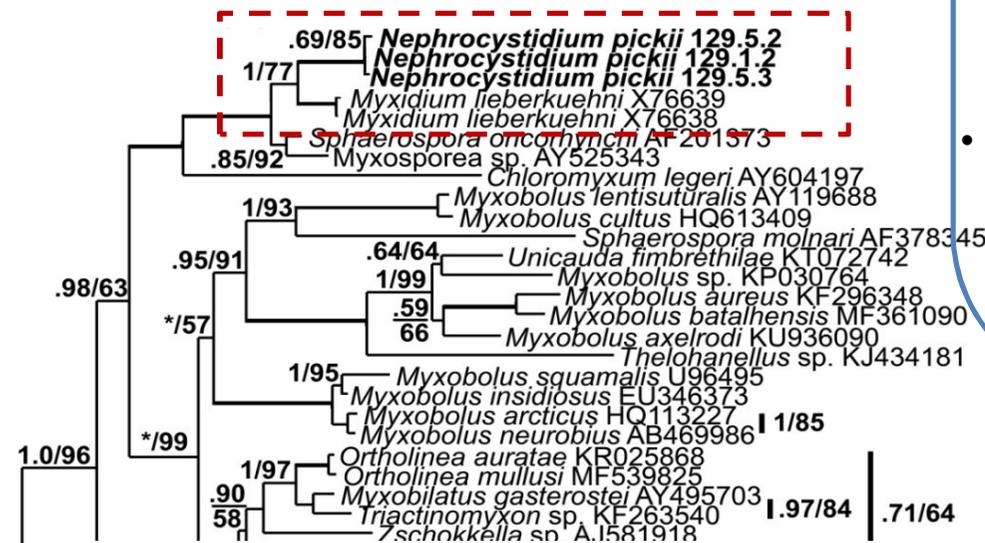
- Перед нерестом – во время нереста – завершение нереста

**Установлены значения пороговых, активных и критических локомоторных показателей реореакции для разных возрастных групп молоди лосося атлантического и кумжи в реках Северо-Запада Российской Федерации.** Особенности в проявлении реореакции кумжи, обитающей в небольших притоках, связаны с высокой вариацией скоростей течения на микробиотопах, имеющих высокие и кратковременные пики водности. **Молодь кумжи мгновенно реагирует на быстро нарастающий водный поток, что определяет более высокие показатели ее реореакции по сравнению с лососем.**





Ксенома – эндотелиальная клетка с трофозоидами *N. pickii*.  
 А, В – ранняя ксенома; С – инкапсулированная зрелая ксенома; D – трофозоиды в зрелой ксеноме; Масштабные линейки: А, В – 50 мкм; С – 300 мкм; D – 15 мкм.



Фрагмент филогенетического дерева миксоспоридий, основанного на анализе участка гена SSU rRNA (1483 п.н.)

**Уточнена видовая принадлежность миксоспоридии *Nephrocystidium pickii* – внутриклеточного паразита обыкновенной щуки**

- *Nephrocystidium pickii* Weissenberg, 1921 – внутриклеточный паразит щуки, локализующийся в гипертрофированных эндотелиальных клетках почечных капилляров.
- До настоящего времени рассматривался как экстра-спорогональная стадия развития миксоспоридии *Myxidium lieberkuehni*, паразитирующей в мочевом пузыре щуки.
- Результаты филогенетического анализа с использованием последовательностей 18S рРНК показали, что *N. pickii* филогенетически близок к *M. lieberkuehni*, но эти два организма не являются конспецифичными.

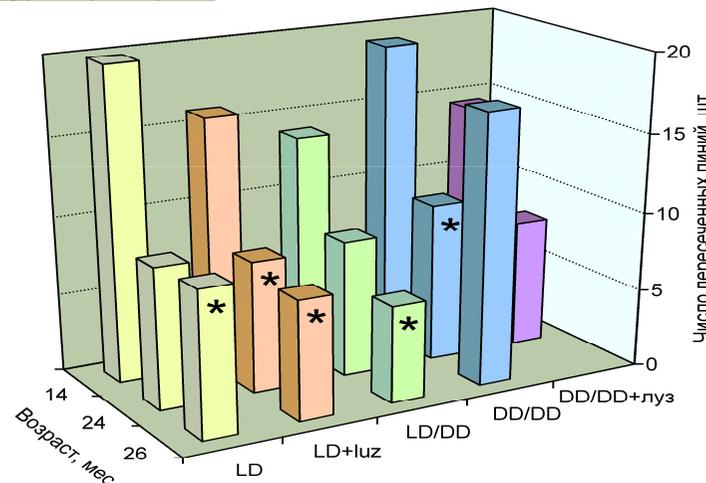
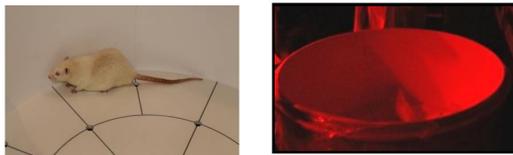
(Sokolov S., Volkova E., Kudryavtsev A., Parshukov A. 2018. *Syst Parasitol* (IF 1.27). <https://doi.org/10.1007/s11230-018-9834-9>)

## п. 51 – Экология организмов и сообществ

Изучено влияние **постоянной темноты (DD)** и антагониста мелатониновых рецепторов – **лузиндола** – на возрастную динамику поведенческих реакций и психоэмоциональных проявлений у крыс. С возрастом уровень двигательной и исследовательской активности снижался у крыс всех групп, а применение лузиндола при DD усиливало тревожность животных в открытом пространстве, но стабилизировало психоэмоциональное состояние в условиях, имитирующих естественное убежище.

### Поведенческие реакции (тест «Открытое поле»)

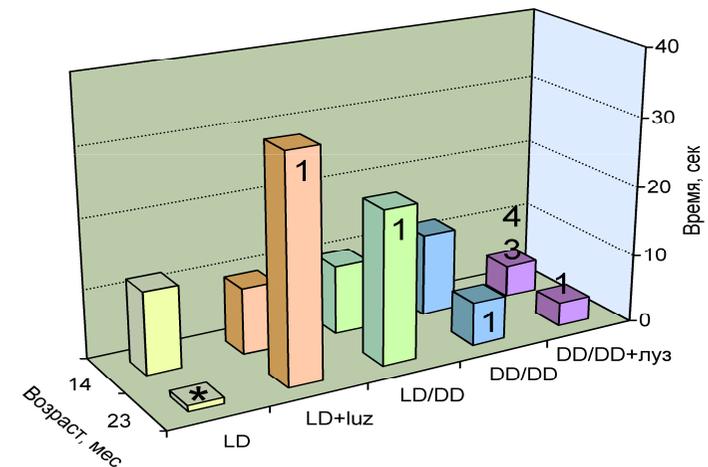
Горизонтальная двигательная активность



Различия достоверны по сравнению: \* – с молодыми животными; 1 – с LD крысами того же возраста; 3 – с LD/DD крысами того же возраста; 4 – с DD/DD крысами того же возраста.

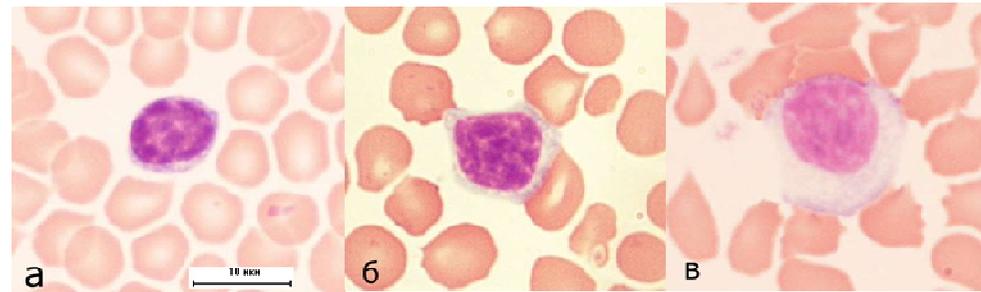


**Психоэмоциональное состояние**  
(установка «Тёмная камера с отверстиями»)  
Время первого выглядывания в боковое отверстие



**Лаборатория экологической физиологии животных**

Выявлены особенности действия витаминов А и Е на параметры лимфоцитов периферической крови у американских тёмно-коричневых норок (*Neovison vison*). Показано, что иммуномодулирующее действие витаминов сопровождается увеличением площади поверхности клеток, а в случае с витамином Е в меньшей дозе - ещё и увеличением их ядер. В результате в кровотоке увеличивается количество средних и больших широкоцитоплазменных лимфоцитов, что наиболее выражено у норок, получавших витамин Е.

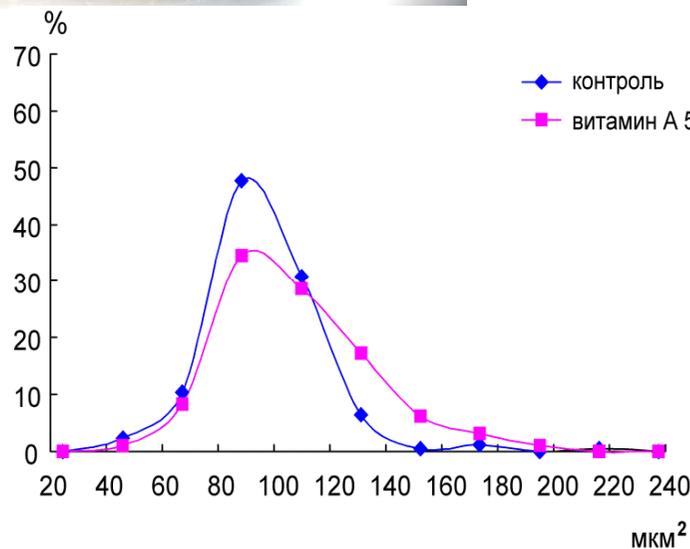


Лимфоциты в периферической крови норок:

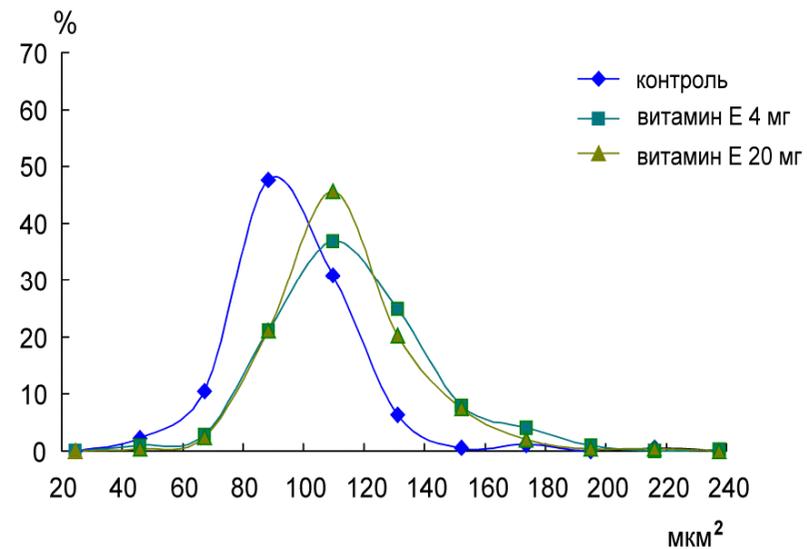
(а) – малый;

(б) – средний;

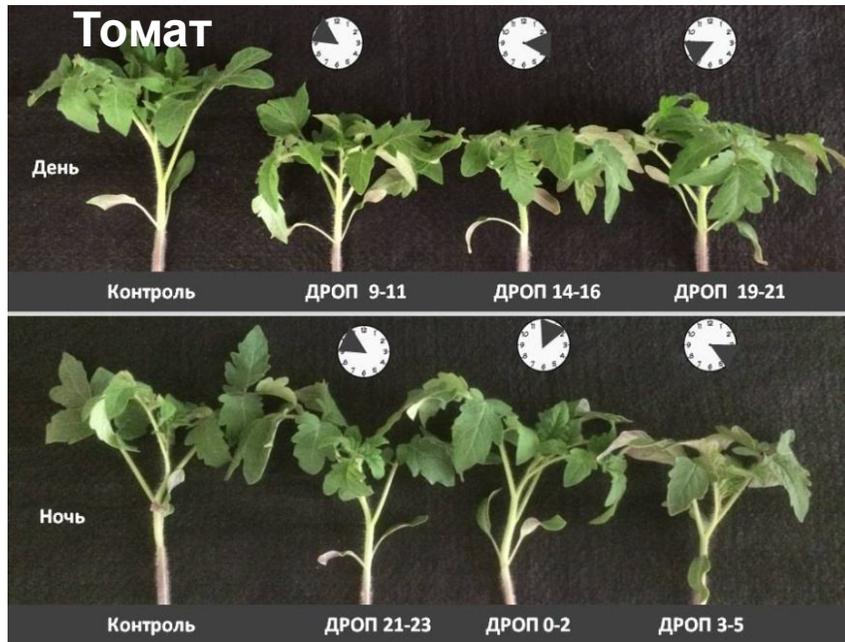
(в) – большой



Распределение лимфоцитов (в %) по площади поверхности у норок



п. 56 - Физиология и биохимия растений, фотосинтез, взаимодействие растений с другими организмами

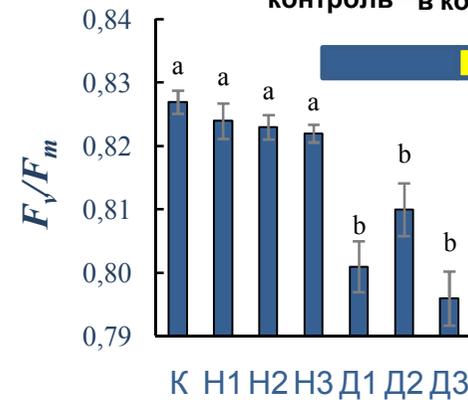
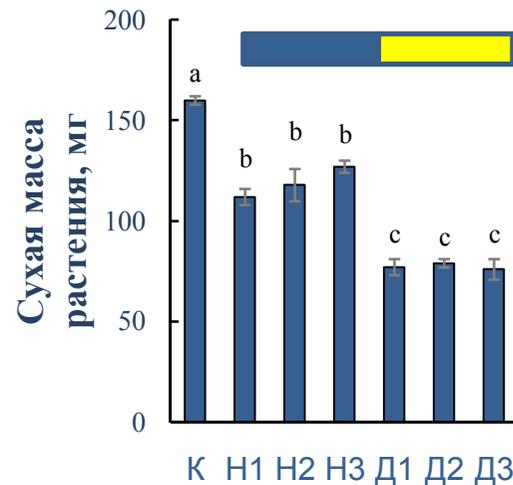
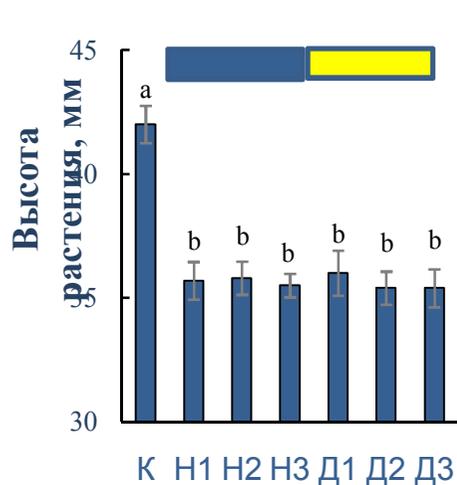


Показано, что **ежесуточные кратковременные понижения температуры (ДРОП-воздействия) эффективны в отношении торможения линейного роста растений независимо от времени их применения в суточном цикле.** Оптимальное время применения ДРОП-воздействий с целью получения компактных растений может не совпадать с периодами наибольшей скорости роста стебля, т.к. ДРОП-воздействия сами по себе способны модифицировать суточную ритмику роста растений.

Установлено также, что **наличие или отсутствие света в период ДРОП-воздействий оказывает более сильное влияние на ответную реакцию растений, чем суточная ритмика чувствительности растений к охлаждению.**



**Огурец**

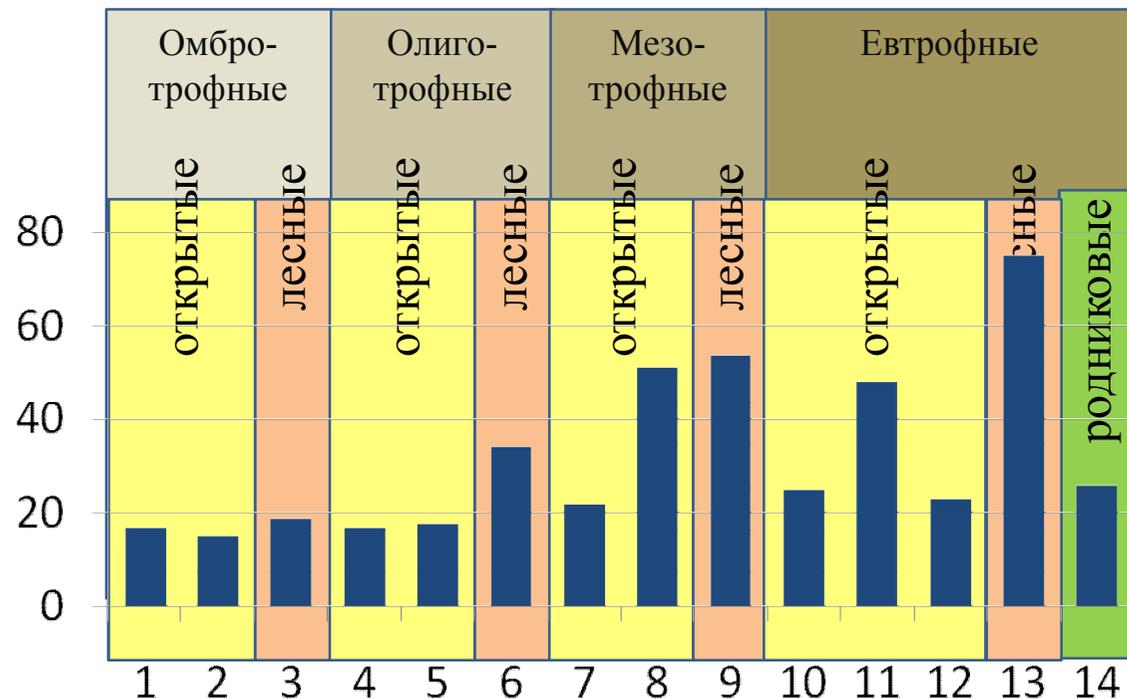


## п. 52 – Биологическое разнообразие

**Выполнен анализ бриофлоры болотных биотопов Европейского севера России. Флора болот региона включает 135 видов мхов из 22 семейств.** Выделено 15 типов биотопов по признакам растительного покрова, трофности и гидрологического режима. Они объединены в группы (открытые и облесенные), 4 подкласса и два класса. В классе омбротрофных биотопов выявлено 29 видов мхов, наиболее богата флора евтрофных биотопов – 105 видов.

**Самое высокое разнообразие мхов характерно для биотопов облесенных мезотрофных и евтрофных болот с развитым микрорельефом.** В них представлены виды из многих экологических и фитоценологических групп. Дана оценка встречаемости видов в регионе и их роли в растительном покрове выделенных биотопов. Исследования агрохимических свойств верхних слоев торфа под 18 видами сфагновых мхов позволили разделить их на экологические группы.

Число видов мхов в основных типах болотных биотопов Европейского севера России



## п. 52 – Биологическое разнообразие

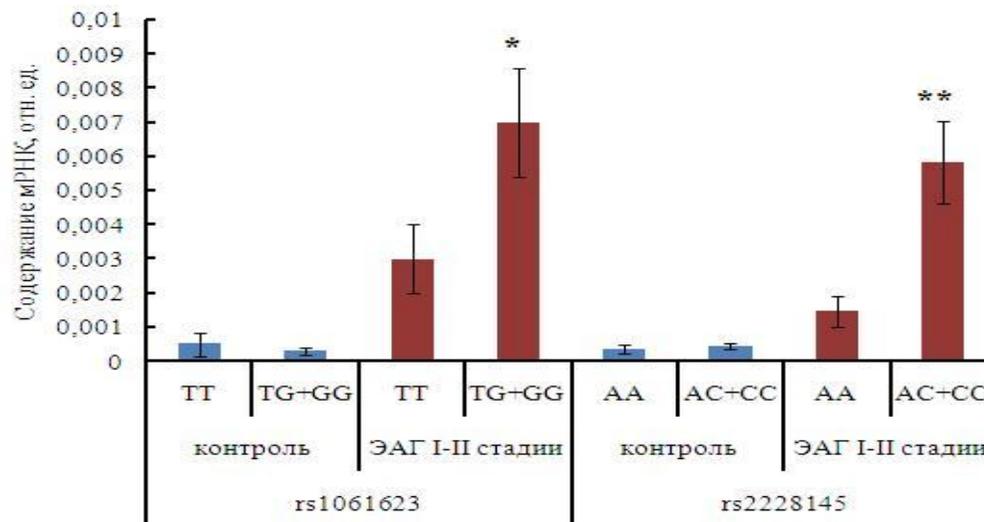


Бобр в заповеднике «Костомукшский».

Фото: С. Симонов

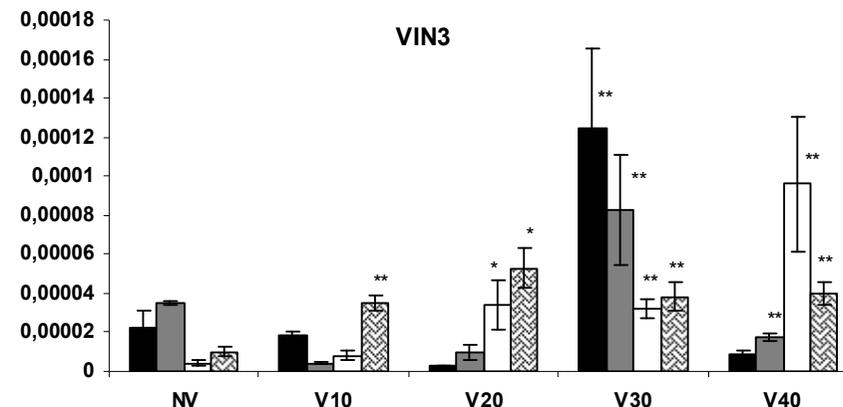
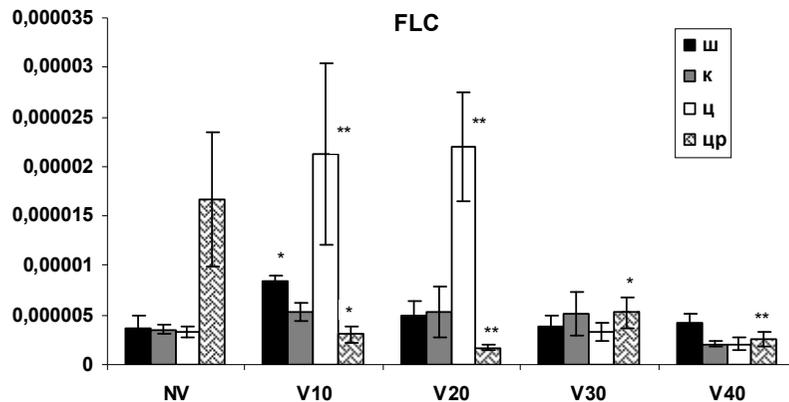
Анализ динамики расселения и численности нового вида фауны Восточной Фенноскандии - канадского бобра (*Castor canadensis* Kuhl) на территории ООПТ «Костомукшский заповедник» в подзоне северной тайги в Карелии показал, что первые два десятилетия после его интродукции (1960-1970 гг.) были периодом расселения и роста населения животных, после чего (1980-1990 гг.) последовала стабилизации численности. В начале 2000-х годов в результате деградации кормовых угодий началось сокращение численности канадских бобров, а к моменту последней инвентаризации (2018 г.) доля обитаемых поселений составила 18 %.

**Выявлена связь носительства аллельных вариаций rs1061623 гена *TNFRSFB1* и rs2228145 гена *IL6Rc* с развитием эссенциальной артериальной гипертензией (ЭАГ) (I-II стадии), что позволяет отнести их к потенциальным маркерами генетической предрасположенности людей к данному заболеванию.** Носительство этих полиморфных вариантов ассоциировано с увеличением уровня транскриптов гена молекулы межклеточной адгезии *ICAM1* в лейкоцитах периферической крови пациентов с ЭАГ. **Обнаружено влияние генотипа по rs1061623 гена *TNFRSFB1* на показатели липидного спектра крови здоровых людей и больных ЭАГ.** Указанные полиморфные варианты генов *TNFRSFB1* и *IL6R* могут быть вовлечены в патогенез эндотелиальной дисфункции, **сопровождаящей формирование стабильно высокого давления крови посредством модулирования липидного спектра и транскрипционной активности гена *ICAM1*.**



Содержание мРНК гена *ICAM* в ЛПК здоровых людей и больных ЭАГ, носителей аллельных вариаций rs1061623 гена *TNFRSFB1* и rs2228145 гена *IL6R*  
 \*Различия достоверны по сравнению с ТТ генотипом ( $p < 0,05$ )  
 \*\*Различия достоверны по сравнению с АА генотипом ( $p < 0,05$ )

Получены данные о своеобразии генетических процессов и эпигенетических механизмов, участвующих в регуляции темпов зацветания поздноцветущих форм растений *Arabidopsis thaliana* L. в популяциях, расположенных на северной периферии ареала вида в нестабильных условиях произрастания. В частности, выявлены различия в динамике транскрипционной активности генов *FLC* и *VIN3*, играющих ведущую роль яровизационно-опосредованном переходе к цветению, для популяций, представленных поздноцветущими формами (Шуйская, Кончезеро) и смешанной по времени зацветания растений (Царевичи). Установлен низкий уровень экспрессии *FLC* до яровизации с последующим усилением ее. Показано, что длительное воздействие холода вызывает усиление первоначально низкой экспрессии *VIN3* в популяциях, представленных поздноцветущими формами растений, с пиком на 30-й день яровизации, а в смешанной по времени зацветания растений популяции – на 40-й. **Результаты исследования позволяют предположить, что механизмы контроля темпов зацветания, и гены, вовлеченные в этот процесс, могут различаться у растений популяций разных географических регионов и отличаться от механизма, представленного Хио и Сунг (Heo, Sung, 2011).**

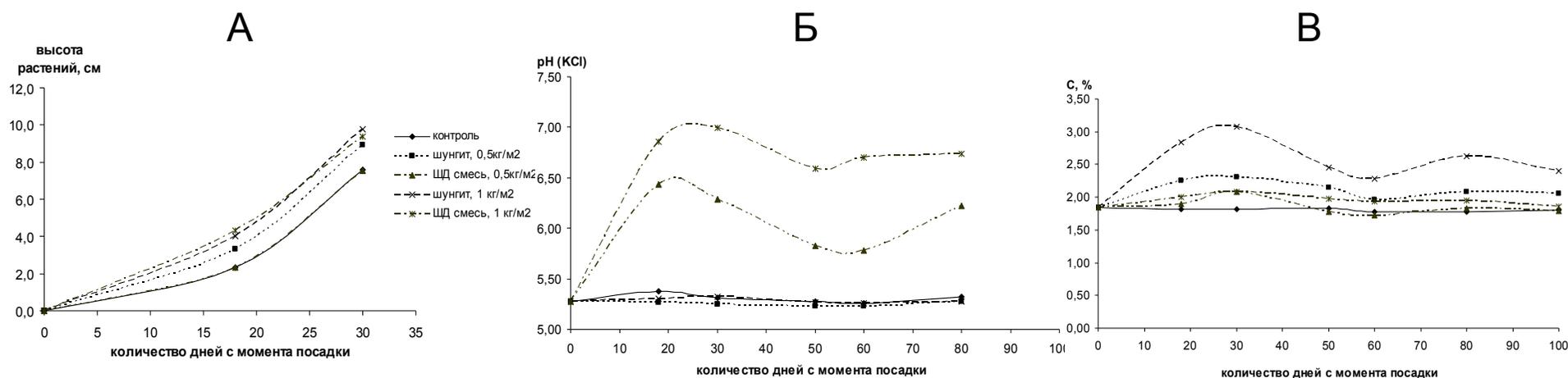


Относительный уровень экспрессии генов *FLC* и *VIN3*.

По оси X – продолжительность яровизации: NV – без яровизации, V10, V20, ...V40 – длительность яровизации в сутках; по оси Y – уровень транскриптов генов в относительных единицах. Растения из популяций: ш – Шуйская, к – Кончезеро, ц – Царевичи, цр – потомство раннецветущего растения из популяции Царевичи. Значимость различий неярвизированных растений (NV) с ярвизированными: \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,001$ .

## п. 54 – Почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции)

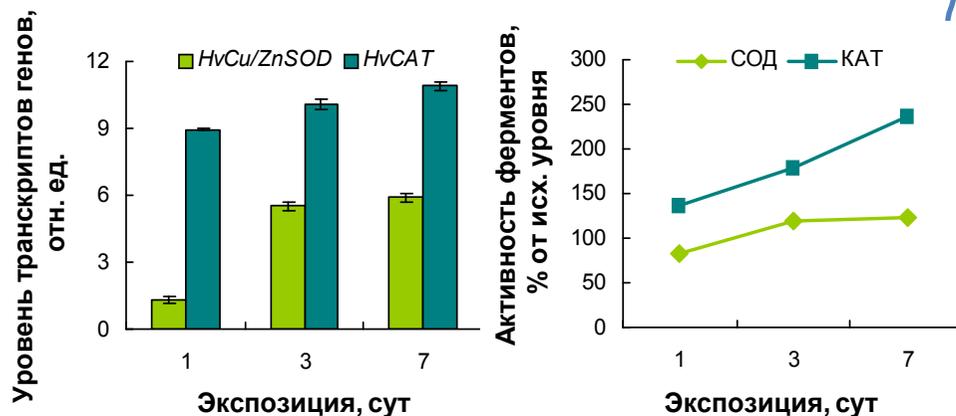
Анализ динамики содержания органического углерода и уровня кислотности почвы при предпосевном равномерном внесении шунгита и шунгит-доломитовой смеси в дерново-подзолистую тяжелосуглинистую почву показал, что при **однократном внесении шунгит** не оказывает заметного влияния на уровень кислотности почвы, но **приводит к существенному увеличению содержания органического углерода**. Внесение шунгита в почву, как в виде монодобавки, так и смеси с доломитовой мукой **способствовало более раннему появлению всходов картофеля, увеличению длины стебля, увеличению выхода клубней крупной фракции** по сравнению с контролем (на 7,5 %), а также **снижению доли фуражной фракции (на 15 %) и гнилых клубней**.



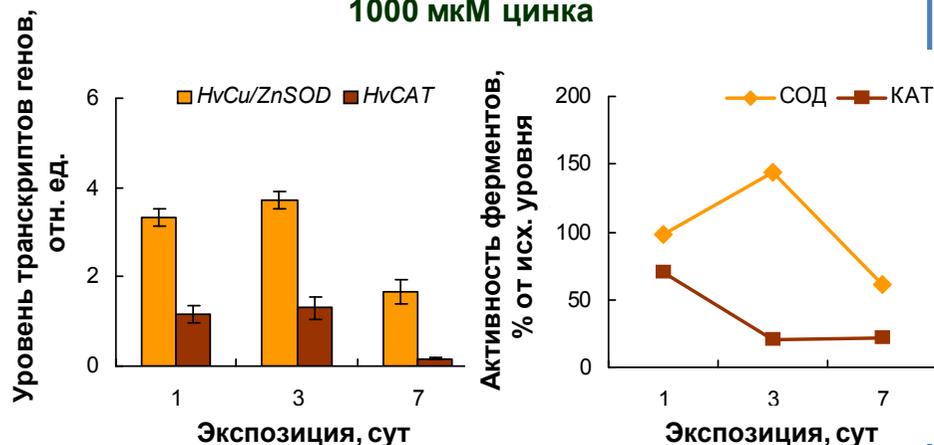
Динамика изменения высоты растений (А), уровня кислотности почвы (Б) и содержания органического углерода в почве (В) при выращивании картофеля на участках с различной дозой и формой внесения шунгита.

п. 56 - Физиология и биохимия растений, фотосинтез, взаимодействие растений с другими организмами

2 мкМ цинка



1000 мкМ цинка



Влияние температуры 4°C на уровень экспрессии генов и активность антиоксидантных ферментов в листьях ячменя при оптимальной (2 мкМ) и высокой (1000 мкМ) концентрации цинка в корнеобитаемой среде

Изучено влияние низкой положительной температуры (4°C) на накопление транскриптов генов и активность антиоксидантных ферментов у растений ячменя при оптимальной (2 мкМ) и высокой (1000 мкМ) концентрации цинка в корнеобитаемой среде. Установлено, что **при действии низкой температуры в оптимальных условиях минерального питания в листьях усиливается экспрессия генов антиоксидантных ферментов (*HvCu/ZnSOD1* и *HvCAT2*)** и возрастает активность супероксид-дисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ), что препятствует развитию в клетках окислительного стресса и способствует адаптации растений к холоду.

В отличие от этого, **при действии температуры 4°C на проростки в условиях избытка цинка согласованное изменение экспрессии генов и работа ферментов нарушаются**: увеличивается количество транскриптов гена *HvCu/ZnSOD1* и активность СОД, тогда как содержание мРНК гена *HvCAT2* и активность КАТ снижаются, **что тормозит нейтрализацию перекиси водорода, приводя к усилению интенсивности окислительных процессов и, как следствие, к снижению адаптационных возможностей растений.**



## п. 57 – Структура и функции биомолекул и надмолекулярных комплексов, протеомика, биокатализ

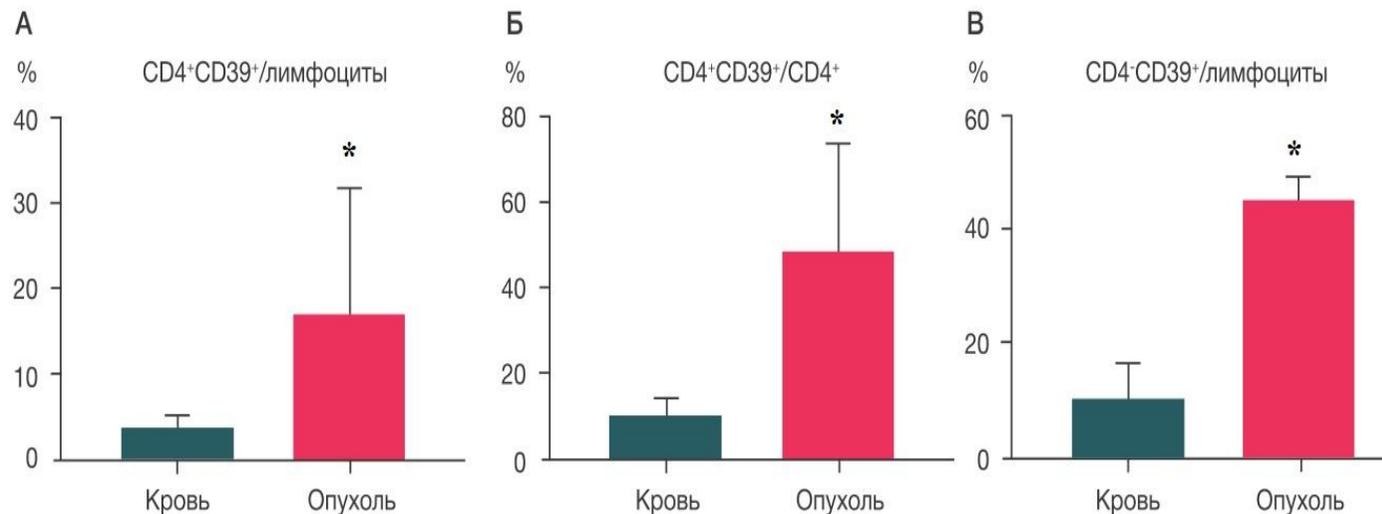
Показано, что **шунгитовый наноуглерод** выступает как агент, способный влиять на степень окисления белков крови как непосредственно повышая степень окисления (железо гема гемоглобина), так и снижая степень свободнорадикального окисления (цис-34 сывороточного альбумина). Взаимодействие и образование **комплексов наночастиц с белком** приводит к **уменьшению сродства к нему физиологических лигандов** (жирных кислот к альбумину, кислорода к гемоглобину). При этом **акцептором лигандов и электронов может являться сам шунгитовый наноуглерод в водной дисперсии**, что характеризует его роль в регуляции процессов окисления и переноса лигандов в системах с участием белков и гемосовместимость в целом.



Окисление-восстановление шунгитовой наночастицы, молекул сывороточного альбумина (цис-34) и связанных спин-меченных жирных кислот в водной дисперсии.

## п. 59 – Молекулярные механизмы клеточной дифференцировки, иммунитета и онкогенеза

Изучение микроокружения опухоли показало, что **количество CD4<sup>+</sup>CD39<sup>+</sup> Т-лимфоцитов было в 4 раза выше, чем в периферической крови тех же больных.** Повышенное содержание CD4<sup>+</sup>CD39<sup>+</sup> Т-клеток отмечено и среди CD4<sup>+</sup> Т-лимфоцитов. Увеличенное количество CD39<sup>+</sup> клеток наблюдалось в популяции инфильтрирующих опухоль Т-лимфоцитов, не несущих на своей поверхности CD4. В опухолевой ткани количество CD4<sup>-</sup>CD39<sup>+</sup> клеток было выше, чем лимфоцитов с фенотипом CD4<sup>+</sup>CD39<sup>+</sup> ( $p < 0,05$ ), чего не отмечено среди лимфоцитов, циркулирующих в крови. Изученные показатели **могут быть важным критерием при оценке уровня иммунной супрессии в норме и при патологиях.**



Содержание лимфоцитов, экспрессирующих мембранный маркер CD39 (эктонуклеотидаза ENTPD1), в периферической крови и опухолевой ткани **больных колоректальным раком.**

Примечание: \* – различия достоверны по сравнению с контролем. Данные представлены как  $M \pm SE$ , достоверность различий между группами рассчитывали по критерию Манна-Уитни при уровне значимости  $p < 0,05$ .