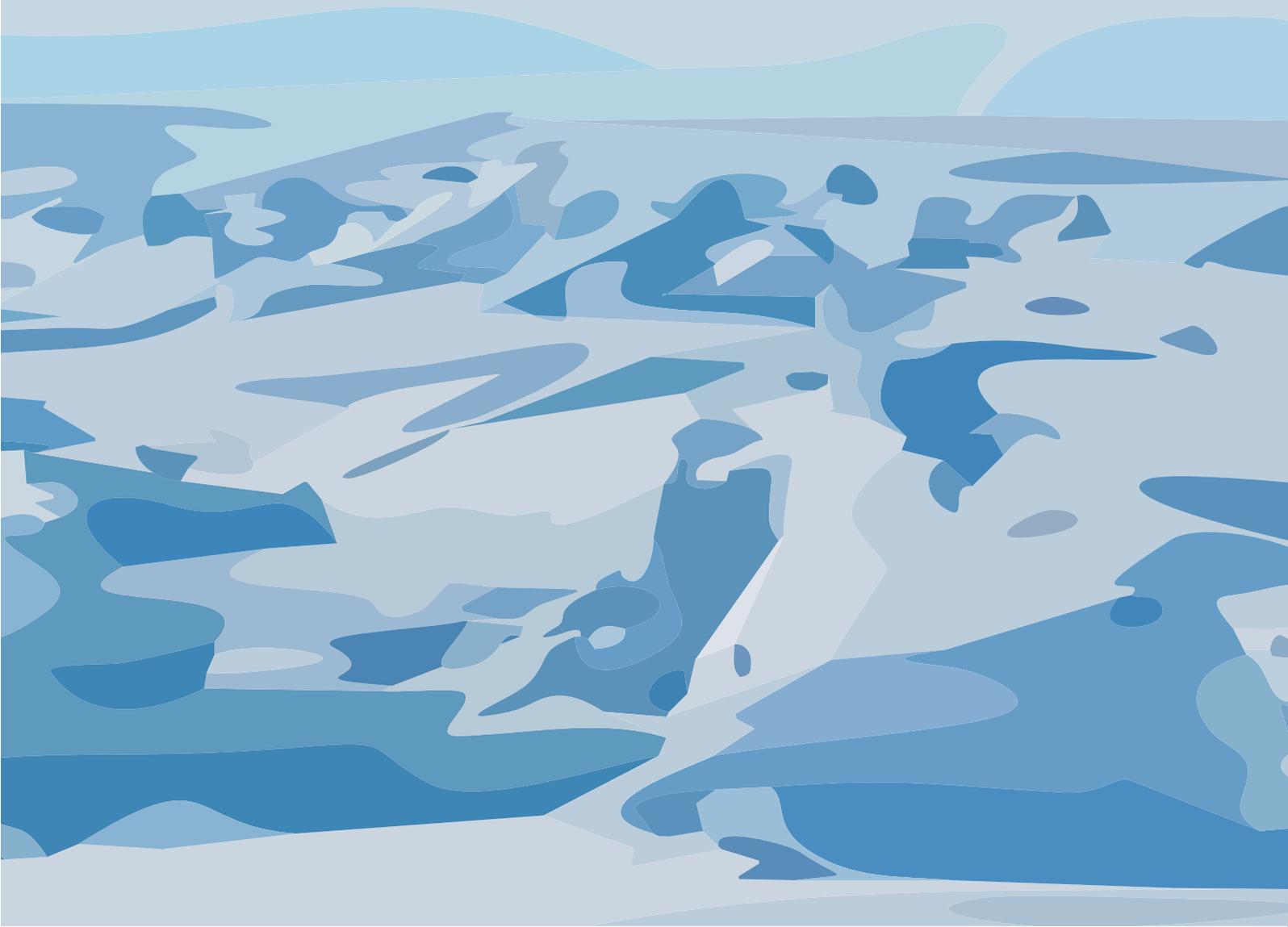




Вавиловское общество  
генетиков и селекционеров



МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ  
И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

г. Санкт-Петербург, 21–22 декабря 2021 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС)

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

# **«ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ»**

г. Санкт-Петербург, 21–22 декабря 2021 г.

Санкт-Петербург, 2021

УДК 575:631.52:636.082:314:61(470.1/.2)(98)

ББК 28.04(21)

Г34

Г34 **Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий** : материалы конференции, г. Санкт-Петербург, 21–22 декабря 2021 г. : научное текстовое электронное издание / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС) ; под общей редакцией Е. К. Хлесткиной. – Санкт-Петербург : ВИР, 2021. – 68 с.

ISBN 978-5-907145-80-1

Представлены программа, тезисы и заключительные рекомендации конференции «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий», которая проходила на площадке ВИР 21–22 декабря 2021 года в онлайн-режиме (далее – Мероприятие/Конференция). Генетические, геномные и омиксные исследования с использованием ценных генетических ресурсов растений, животных и микроорганизмов, а также биоматериалов человека, в том числе мобилизованных в биоресурсные *ex situ* коллекции из регионов, отличающихся экстремальными природно-климатическими условиями, – основа для получения знаний, создания комплекса инструментов и разработок, способствующих социально-экономическому развитию и обеспечению безопасности в Арктике, решению вопросов здоровьесбережения, повышения качества жизни населения и частичного самообеспечения продовольствием регионов Севера и Арктики. Развитие данного направления имеет важное значение для реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации с учетом Указа Президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». Задачей Конференции было – собрать на одной площадке не только генетиков, ресурсоведов и биотехнологов, но и специалистов из смежных разделов биологии, а также из других наук, для обмена опытом, консолидации усилий и выработки междисциплинарных подходов, которые повысят востребованность биоресурсных коллекций и вклад технологических решений следующего поколения в развитие северных регионов. Направления работы Конференции включали «Эффективное развитие северного земледелия: генетические ресурсы сельскохозяйственных растений и микроорганизмов, генетические технологии и междисциплинарные исследования», «Сельскохозяйственные животные, морские млекопитающие и промысловые рыбы в условиях Крайнего Севера: сохранение и изучение генетических ресурсов, селекция, междисциплинарные исследования» и «Здоровье и долголетие населения северных территорий: генетические и междисциплинарные исследования (в том числе на модельных организмах)».

Для специалистов в области генетики растений, генетики животных, генетики микроорганизмов, генетики человека, а также ресурсоведов и биотехнологов и специалистов из смежных разделов биологии, а также из других наук, ведущих исследования для освоения Арктики.

Тезисы публикуются в авторской редакции.

Сайт конференции: <https://www.vir.nw.ru/blog/2021/10/29/arktika2021/>

УДК 575:631.52:636.082:314:61(470.1/.2)(98)

ББК 28.04(21)

ISBN 978-5-907145-80-1

DOI 10.30901/978-5-907145-80-1

© Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических  
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова  
(ВИР), 2021

© Вавиловское общество генетиков  
и селекционеров (ВОГиС), 2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal Research Center  
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)  
Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VSGB)

PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE

**GENETIC RESOURCES AND GENETIC  
TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF  
NORTHERN TERRITORIES**

St. Petersburg, December 21–22, 2021

St. Petersburg, 2021

UDC 575:631.52:636.082:314:61(470.1/.2)(98)

**Genetic Resources and Genetic Technologies for the Development of Northern Territories** : Proceedings of the Conference, St. Petersburg, 21–22 December 2021 : scientific online text edition / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Vavilov Society of Geneticists and Breeders ; E. K. Khlestkina (ed.). – St. Petersburg : VIR, 2021. – 68 p.

ISBN 978-5-907145-80-1

The program, abstracts, and final recommendations of the Conference *Genetic Resources and Genetic Technologies for the Development of Northern Territories* are presented. This event was harbored by VIR on December 21–22, 2021, in an online format (hereinafter: the Event/Conference). Research into genetics, genomics and other “–omics” involving valuable genetic resources of plants, animals and microorganisms as well as biomaterials of human origin, including those mobilized in *ex situ* bioresource collections from regions with extreme natural and climatic conditions, is the platform for knowledge accumulation, development of a set of tools and products contributing to socioeconomic progress and security in the Arctic, health saving and life quality enhancement for the population, and partial food self-sufficiency of northern and Arctic regions. The promotion of this trend is crucially important for the implementation of the governmental science and technology policy in the Russian Federation, taking into account the Decree of the President of the Russian Federation *Concerning the Development Strategy for the Arctic Zone of the Russian Federation and Provision of National Security until 2035*. The Conference’s objective was to gather on one site not only geneticists, resource experts and biotechnologists but also specialists from adjacent sectors of biology and other sciences for experience exchange, consolidation of efforts and development of interdisciplinary approaches which would increase the demand for bioresource collections and the contribution of new-generation technological decisions to the development of northern regions. The Conference’s priority topics included: *Effective Development of Northern Crop Farming: Genetic Resources of Agricultural Plants and Microorganisms, Genetic Technologies, and Interdisciplinary Research; Farming Animals, Sea Mammals, and Commercial Fish in the Environments of the Far North: Conservation and Study of Genetic Resources, Breeding, and Interdisciplinary Research; and Health and Longevity of the Population in Northern Territories: Genetic and Interdisciplinary Research (Including the Use of Model Organisms)*.

Addressed to experts in the genetics of plants, animals, microorganisms and humans, bioresource scientists, biotechnologists, and specialists from adjacent biology sectors or other sciences exploring the reclamation of the Arctic.

The abstracts are published in the authors’ initial version.

The Conference’s website: <https://www.vir.nw.ru/blog/2021/10/29/arktika2021/>

UDC 575:631.52:636.082:314:61(470.1/.2)(98)

ISBN 978-5-907145-80-1

DOI 10.30901/978-5-907145-80-1

© Federal Research Center  
the N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources (VIR), 2021  
© Vavilov Society of Geneticists and Breeders,  
(VSGB), 2021

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Программа Конференции «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий».....	6
Раздел «Эффективное развитие северного земледелия: генетические ресурсы сельскохозяйственных растений и микроорганизмов, генетические технологии и междисциплинарные исследования».....	10
Раздел «Сельскохозяйственные животные, морские млекопитающие и промысловые рыбы в условиях Крайнего Севера: сохранение и изучение генетических ресурсов, селекция, междисциплинарные исследования».....	28
Раздел «Здоровье и долголетие населения северных территорий: генетические и междисциплинарные исследования (в том числе на модельных организмах)».....	41
Резолюция Конференции.....	64

## ПРОГРАММА

Конференции «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий»,

21–22 декабря 2021 г., Санкт-Петербург

### 21 декабря

9-00 – 9-30 – Открытие, приветственные слова

*Тихонович Игорь Анатольевич, академик РАН, Президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС), научный руководитель ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, декан биологического факультета СПбГУ*

*Гвишиани Алексей Джерменович, академик РАН, Председатель Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, научный руководитель Геофизического центра РАН*

*Хлесткина Елена Константиновна, д.б.н., профессор РАН, директор ВИР*

9-30 – 11-30 – Пленарная сессия

*Хлесткина Елена Константиновна, д.б.н., профессор РАН – **Генетические технологии и генресурсы растений для развития северного земледелия (ВИР) – 30 мин***

*Абакумов Евгений Васильевич, д.б.н., профессор – **Микробиомы почв залежных агроландшафтов Ямальского региона (СПбГУ) – 30 мин***

*Ларкин Денис Михайлович, к.б.н. – **Конвергентная эволюция геномов домашних и диких животных в условиях холодного (арктического) климата (ИЦиГ СО РАН; Королевский ветеринарный колледж Университета Лондона) – 30 мин***

*Голохваст Кирилл Сергеевич, д.б.н., профессор РАН, член-корреспондент РАО – **Арктическая флора и фауна как источник биологически активных соединений (СФНЦА РАН) – 30 мин***

11-30 – 12-30 – Перерыв

12-30 – 14-10 – Сессия №1

*Шипилина Лилия Юрьевна, к.б.н. – **Инвентаризация диких родичей культурных растений в Арктике и Субарктике как основа развития северного земледелия (ВИР) – 20 мин***

*Лихенко Иван Евгеньевич*, д.с.-х.н. – **Генетико-селекционный потенциал раннеспелых сортов яровой мягкой пшеницы в Сибири** (ИЦиГ СО РАН) – 20 мин

*Новикова Любовь Юрьевна*, д.с.-х.н. – **Адаптация сельского хозяйства северных территорий к потеплению климата – новый потенциал России** (ВИР) – 20 мин

*Миронова Виктория Владимировна*, к.б.н. – **Чувствительность стволовых клеток корня растений к низким положительным температурам: системно-биологический анализ** (ИЦиГ СО РАН, Университет Неймегена, Нидерланды) – 20 мин

*Карлов Денис Сергеевич*, к.б.н. – **Бобово-ризобиальный симбиоз как основа формирования высокопродуктивных пастбищных фитоценозов в арктических регионах России** (ВНИИСХМ) – 20 мин

#### 14-10 – 15-10 – Сессия №2

*Крутикова Анна Алексеевна*, к.б.н. – **Генетика северного оленя – рациональное использование биоресурсов** (ВНИИГРЖ – филиал ВИЖ) – 20 мин

*Харзинова Вероника Руслановна*, к.б.н. – **Оценка генетического разнообразия и структуры популяций северного оленя** (ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста) – 20 мин

*Щербаков Юрий Сергеевич* – **Генетические ассоциации полиморфных вариантов гена *bmp-2* с продуктивными показателями у радужной форели** (ВНИИГРЖ – филиал ВИЖ) – 15 мин

#### 15-10 – 15-40 – заключение по сессиям 1 и 2

#### 15-40 – 16-30 – Вечерняя лекция

*Зимов Сергей Афанасьевич* – **Климат, большая политика и мегафауна** (Северо-восточная научная станция ТИГ ДВО РАН) – 45 мин

### 22 декабря

#### 9-00 – 10-30 – Пленарная сессия

*Воевода Михаил Иванович*, д.м.н., академик РАН – **Проблемы генетики чувствительности к внешним факторам у жителей Крайнего Севера** (ФИЦ ФТМ) – 30 мин

*Степанов Вадим Анатольевич*, д.б.н., член-корреспондент РАН – **Популяционная геномика и эволюционная медицина** (Томский НИМЦ) – 30 мин

*Москалев Алексей Александрович*, д.б.н., член-корреспондент РАН – **Ресурсы Севера с точки зрения старения и долголетия** (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) – 30 мин

10-30 – 14-30 Сессия №3

*Харьков Владимир Николаевич*, д.б.н. – **Популяционная генетика и генетическая демография народов Севера** (Томский НИМЦ) – 20 мин

*Даниленко Валерий Николаевич*, д.б.н., профессор – **Микробиом человека в экстремальных условиях Арктики, его роль в адаптации малых народов севера к проблеме глобализации** (ИОГен РАН) – 20 мин

*Вавилин Валентин Андреевич*, д.м.н. – **Актуальность фармакогенетических и фармакокинетических исследований коренного и пришлого населения Сибири и Крайнего Севера в решении территориальных задач здоровьесбережения** (ФИЦ ФТМ) – 20 мин

*Гришин Олег Витальевич*, д.м.н., профессор – **Генотип и фенотипические стратегии адаптации человека в Арктике** (ФИЦ ФТМ) – 20 мин

*Мошкин Михаил Павлович*, д.б.н., профессор – **Сезонные десинхронозы циркадных ритмов у людей в полярных районах** (ИЦиГ СО РАН) – 20 мин

*Пинхасов Борис Борисович*, д.м.н. – **Исследование роли светопериодичности и питания в развитии метаболических и психоэмоциональных нарушений у лиц, проживающих в районах Крайнего Севера** (ФИЦ ФТМ) – 20 мин

*Голубенко Мария Владимировна*, к.б.н. – **Закономерности нуклеотидной изменчивости митохондриального генома человека в популяциях народов, проживающих в экстремальных климатических условиях** (Томский НИМЦ) – 20 мин

*Ким Лена Борисовна*, д.м.н. – **Фундаментальные проблемы арктической медицины: старение, фиброз, гипоксия, генетика** (ФИЦ ФТМ) – 20 мин

*Брагина Елена Юрьевна*, к.б.н. – **Поиск генов коморбидности бронхиальной астмы и сердечно-сосудистых заболеваний** (Томский НИМЦ) – 20 мин

*Назаренко Мария Сергеевна*, д.м.н. – **Мультиомный подход к многофакторным заболеваниям** (Томский НИМЦ) – 20 мин

*Трифонова Екатерина Александровна*, к.м.н. – **Генетические факторы развития преэклампсии в популяциях различного этнического происхождения** (Томский НИМЦ) – 20 мин

*Николаев Юрий Алексеевич*, д.м.н. – **Оценка возможного воздействия проектируемых промышленных предприятий на здоровье населения северных территорий** (ФИЦ ФТМ) – 20 мин

14-30 - 15-00 – Обсуждение, закрытие

## **Программный комитет:**

***Хлесткина Елена Константиновна***, доктор биологических наук, профессор РАН, директор ВИР, член Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики (Председатель Конференции)

***Тихонович Игорь Анатольевич***, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, научный руководитель ВНИИСХМ, декан Биологического факультета СПбГУ, Президент ВОГиС

***Кочетов Алексей Владимирович***, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор ФИЦ ИЦиГ СО РАН

***Степанов Вадим Анатольевич***, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор Томского НИМЦ

## ТЕЗИСЫ

по направлению «Эффективное развитие северного земледелия: генетические ресурсы сельскохозяйственных растений и микроорганизмов, генетические технологии и междисциплинарные исследования»

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ГЕНРЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Хлесткина Е.К.

*Федеральный исследовательский центр*

*Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург, Россия*

В первой половине XX в. под руководством Николая Ивановича Вавилова – нашего знаменитого соотечественника, генетика, ботаника, географа, селекционера была создана первая в мире коллекция разнообразия культурной флоры нашей планеты, а в нашей стране системно на научной основе были созданы как обширная система эколого-географического изучения образцов коллекции, так и государственная система сортоиспытания. Всё это позволило существенно расширить ареалы возделывания традиционных культур, а также внедрить новые культуры. Благодаря этому ресурсу и системному подходу граница северного земледелия менее чем за 40 лет существенно продвинулась в северные широты и пересекала Северный полярный круг на Кольском полуострове, в Архангельской области, Красноярском крае, Республиках Коми и Якутии и в Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах. Научно-практические результаты, полученные в ВИР, могут служить примером комплексного подхода к развитию новых территорий. Так, организованная в 1923 году на Кольском полуострове Полярная опытная станция ВИР стала северным форпостом отечественного земледелия. Сто лет назад перед организаторами стояла важная задача – накормить население России, наладить самообеспеченность продуктами питания в развивающихся отдаленных регионах, в том числе на Крайнем Севере. Почти вековая история успешного развития Полярной опытной станции ВИР позволила развить селекцию картофеля, овощных и кормовых культур, а также адаптировать и выделить перспективные генотипы ягодных культур для развития северного земледелия в нашей стране. Сегодня на фоне развития генетических технологий, геномных и омиксных методов исследования происходит новый виток интенсивного раскрытия потенциала основанной Н.И. Вавиловым мировой коллекции ВИР. Сегодня она насчитывает более 320 тыс. образцов, относящихся к более 2000 биологических видов растений. Происходит постоянное пополнение коллекции за счет экспедиционных сборов. Особое внимание уделяется мониторингу северного фиторазнообразия, диким родичам культурных растений, как резервуару новых полезных генов для селекции адаптивных форм, пригодных для северного земледелия. Обширное агробιοразнообразие генетических ресурсов растений в коллекции ВИР позволяет не только выбирать формы, обладающие значительной холодо- и зимостойкостью, и рекомендовать их для выращивания в экстремальных условиях севера, но также проводить работы по получению (селекции) образцов с повышенными пищевыми качествами плодов (с высоким содержанием витаминов, микроэлементов), которые необходимы для здорового питания и улучшения качества жизни населения Крайнего Севера. В свете изменения и нестабильности климата на первое место выходит и современная агроклиматология. Внедрение результатов исследований и современных технологий в практику повседневной жизни будут способствовать комплексному развитию северных территорий Российской Федерации, а научная работа, сопровождаемая в

соответствии с традициями, заложенными Н.И. Вавиловым, просветительской деятельностью в сфере растениеводства, генетики и сохранения биоразнообразия, позволит вырабатывать и поддерживать навыки бережного отношения к среде обитания, что также является частью комплексной работы по улучшению качества жизни населения на Крайнем Севере.

## МИКРОБИОМЫ ПОЧВ ЗАЛЕЖНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ ЯМАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Абакумов Е.В., Кимеклис А.К., Гладков Г.В., Зверев А.О., Андронов Е.Е.

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия*

Россия является ключевым игроком в арктических научных исследованиях и в арктическом бизнесе, а также в определении стратегий арктической политики на региональном и глобальном уровне. В настоящее время в связи с потеплением и деградацией многолетнемерзлых пород начинается реэкспансия практических сценариев земледелия в районы, расположенные севернее полярного круга. Эти практические модели имплементируют и адаптируют методы выращивания растений в закрытом и даже открытом грунте на территориях, локализованных севернее 68 и даже 69° с. ш. Благодаря агрономической деятельности местного населения, включая коренные малочисленные народы, овощи выращиваются на транспортированных почвах в условиях криогенных почв. В связи с этим был изучен микробиом агрокриогенных почв, в том числе с помощью методов высокопроизводительного секвенирования с последующим биоинформатическим анализом.

Таксономический состав (рисунок) микробиома исследуемых природных и антропогенных почв в целом характерен для почв зоны распространения многолетнемерзлых пород. Наиболее представленными являются филы Acidobacteriota, Proteobacteria, Actinobacteriota и Chloroflexi. Во всех исследуемых точках присутствует высокая доля представителей филы Acidobacteriota, характерной для естественных местообитаний суровых климатических условий (например, аридных, включая криоаридные). Наиболее крупными представителями этой филы в данных микробиомах являются роды Bryobacter и Solibacter, которые характерны для местообитаний с пониженным содержанием легкодоступных соединений мобильного, они при этом способны утилизировать спектр форм углеродсодержащих соединений. Микробиомы агропочв в пределах г. Салехард отличаются увеличенной автотрофной анаэробной компонентой (Chloroflexi). Микробиомы парковых агропочв в пределах г. Салехарда характеризуются присутствием микроорганизмов из рода Sphingomonas, представители которого участвуют не только в метаболизме природных органических соединений, но и стойких органических токсикантов. Также они отличались повышенным содержанием бактерий родов Gemmatimonas. В целом предварительные данные о составе почвенного микробиома требуют глубокого дополнения с учетом разнообразия вариантов пробоотбора и «глубины» секвенирования. При этом уже в настоящее время необходимо устанавливать связь между интенсивностью отдельных процессов почвенного метаболизма и даже почвообразования и доминированием отдельных филумов микроорганизмов в конкретных почвенных горизонтах. Это позволит проводить параметризацию отдельных экосистемных услуг агроландшафтов и регулировать отдельные составляющие продукционного процесса в агроэкосистемах.

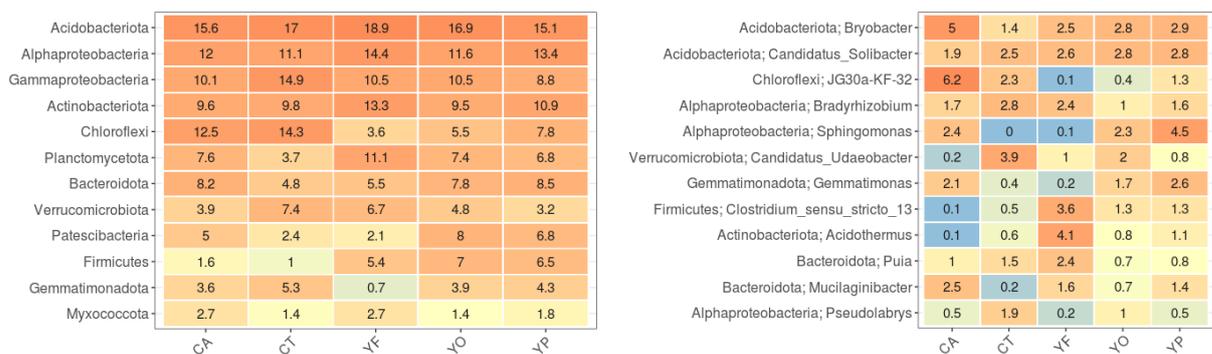


Рисунок. Таксономическое разнообразие на уровне фил (слева) и родов (справа).  
 СА – Салехард, агропочва, СТ – Салехард, паковая агропочва, YF – Ямгорт, лес, YO – Ямгорт – огород, YP – Ямгорт, пашня.

Работа выполнена в рамках проекта НЦМУ «Агротехнологии будущего» (логистика, полевые работы) и гранта РФФ 17-16-01030 (микробиологические исследования).

## РЕСУРСЫ СЕВЕРА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СТАРЕНИЯ И ДОЛГОЛЕТИЯ

Москалев А.А., Кукумань Д.В., Платонова Е.Ю., Голубев Д.А., Земская Н.В.,  
Пакшина Н.Р., Уляшева Н.С., Плюснин С.Н., Горбунова А.А., Бабак Т.В.,  
Шапошников М.В.

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии  
наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Сыктывкар, Россия*

В настоящем исследовании оценивали эффекты экстрактов растений региональной флоры Республики Коми, побеги и плоды которых являются источником фитохимических соединений с потенциальной геропротекторной активностью (рисунок). Были изучены экстракты из плодов следующих растений: черноплодной рябины – × *Sorbaronia mitschurinii* (А.К. Skvortsov & Maitul.) Sennikov (содержит дельфинидин глюкозид, дельфинидин рутеносид и цианидин глюкозид), жимолости голубой – *Lonicera caerulea* L. (содержит соединения дельфинидина, самбубиозида и цианидин-глюкозида), голубики обыкновенной – *Vaccinium uliginosum* L. (содержит соединения 3-гликозидные и галатозидные производные цианидина, дельфинидина, мальвидина и петунидина), водяники гермафродитной – *Empetrum nigrum* subsp. *Hermaphroditum* (Lange) Bocher (содержит глюкозиды цианидина, дельфинидина и пеонидина), черной смородины – *Ribes nigrum* L. (содержит аскорбиновую кислоту, бета-каротин, витамины В5 и Е, кверцетин, кемпферол, кофейную кислоту, пролин, рутин, салициловую кислоту, серин, селен, а также миметики рапамицина: мирицетин и эпигаллокатехин галлат), клюквы – *Vaccinium oxycoccos* L. (*Oxycoccus palustris* Pers.) (содержит витамины, сахара, пектины, полифенолы, флавоноиды, дубильные вещества и тритерпеноиды), малины обыкновенной – *Rubus idaeus* L. (содержит гликозиды цианидина, гликозиды пеларгонидина, гликозиды кверцетина, гликозиды кемпферола, эллаговую кислоту и ее гликозиды, кофейную кислоту, пара-кумаровую кислоту, эллагитаннины), а также экстракты травы клевера красного – *Trifolium pratense* L. (содержит изокверцитрин, кумаровую кислоту, мирицетин, циннамиловую кислоту, кверцетин, апигенин, гесперидин, хризин). Сбор растительных ресурсов производился в Ботаническом саду (Научная коллекция живых растений, № 507428) Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Россия), а также в естественных условиях произрастания на территории Республики Коми. При оценке геропротекторных эффектов экстрактов использовали особей плодовой мушки *Drosophila melanogaster* линии дикого типа.

Установлено, что экстракты изученных растений вызывают увеличение медианной и максимальной продолжительности жизни (до 9 %), повышают устойчивость животных к неблагоприятным факторам (до 10 %), улучшают целостность кишечного барьера (до 4 %). Однако при этом экстракты растений могут снижать двигательную активность *D. melanogaster* до 52 %. В целом полученные данные показывают, что растительные ресурсы Севера имеют большой потенциал с точки зрения профилактики возраст-зависимых заболеваний и увеличения долголетия.



# **ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ДИКИХ РОДИЧЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В АРКТИКЕ И СУБАРКТИКЕ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Шипилина Л.Ю., Чухина И.Г.

*Федеральный исследовательский центр*

*Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург, Россия*

ВИР, являясь пионером в развитии селекции и семеноводства в регионах Арктики и Субарктики, в настоящее время с учетом меняющихся климатических условий усилил внимание к систематической инвентаризации фитогенофонда северных территорий. В 2020 году завершен трехлетний цикл экспедиционных обследований территории Мурманской и Архангельской областей, включая Соловецкий архипелаг, Республики Карелия, включая о. Валаам. Выявлены виды диких родичей культурных растений (ДРКР), генофонд которых требует первоочередного сохранения, даны рекомендации по их сохранению; составлен перечень видов ДРКР для включения в Красный список Северо-Западного федерального округа; с использованием ГИС построены электронные карты ареалов ДРКР. Полученная информация будет использована в дальнейшем для прогноза трансформации ареалов видов при изменениях климата, а также для сбора генотипов, адаптированных к арктическим условиям, и их применения в целенаправленной селекции для расширения сортимента сельскохозяйственных культур Крайнего Севера. В рамках выполнения Указа Президента Российской Федерации «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года» эти исследования будут способствовать диверсификации направлений экономического развития северных территорий, повышению уровня самообеспеченности продовольствием и в целом улучшению качества жизни населения.

Работа выполнена в рамках тем НИР № 0481-2020-0001 ВИР.

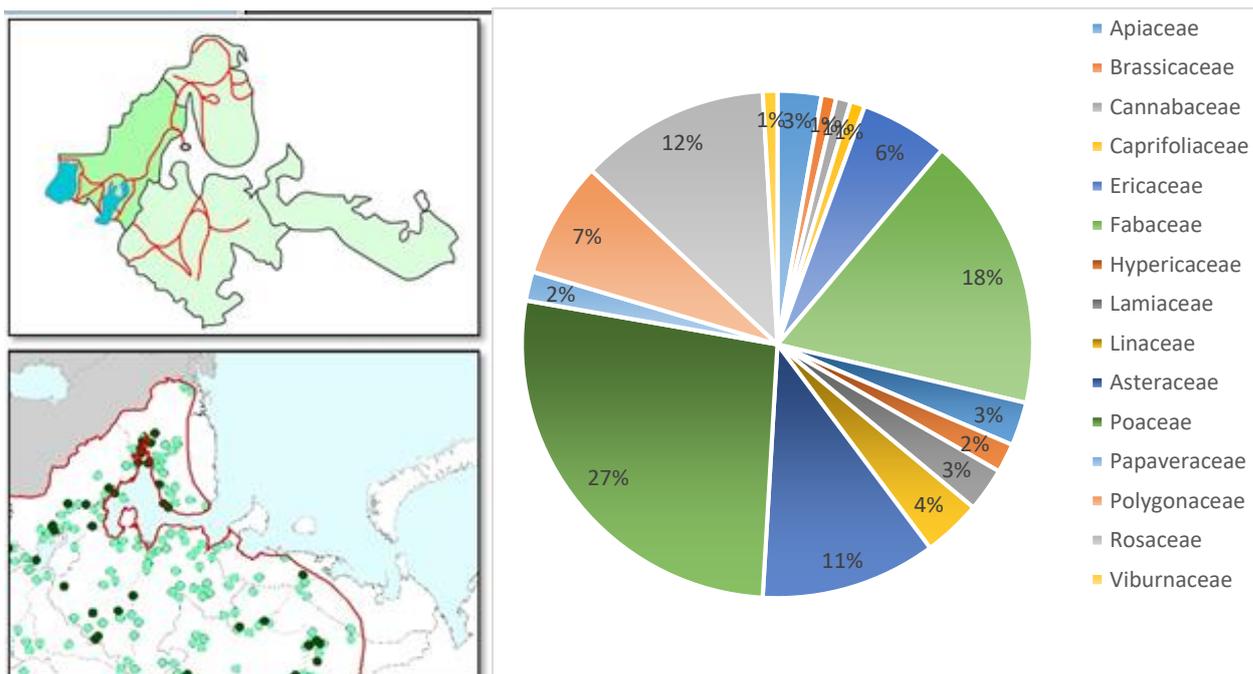


Рисунок. Слева сверху: Маршруты экспедиций ВИР по территории Мурманской, Архангельской областей и республики Карелия в 2018–2020 гг. Слева внизу: пример определения северной границы ареала одного из инвентаризованных видов (*Fragaria vesca* L. – земляника лесная). Справа: структура инвентаризованного генофонда ДРКР: число видов различных семейств, приоритетных для сохранения *in situ* на территориях Ленинградской, Псковской, Новгородской, Мурманской, Архангельской областей, Республик Карелия и Коми Ненецкого автономного округа.

## ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАННЕСПЕЛЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

Лихенко И.Е., Салина Е.А., Советов В.В., Лихенко Н.Н.,  
Капко Т.Н., Агеева Е.В., Советов Р.В.

*Федеральный исследовательский центр  
Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН (ИЦиГ СО РАН),  
Новосибирск, Россия*

Известно, что яровая мягкая пшеница, как и другие сельскохозяйственные культуры с яровым образом жизни, относится по продолжительности вегетации к нескольким типам созревания, от раннеспелых до позднеспелых. В Госреестре РФ названные группы представлены весьма немногочисленными списками сортов, допущенных к использованию. Однако в связи с изменением климата, возможно, понадобится большее их разнообразие.

В Сибирском НИИ растениеводства и селекции – филиале ИЦиГ СО РАН совместно с Отделением генетики растений исследованы вопросы детерминации продолжительности вегетации у пшеницы (таблица), осуществляется создание и генотипирование раннеспелых сортов яровой пшеницы, которые способны созревать за 73-74 дня. При увеличении количества тепла и недостатке влаги в отдельные годы созревание может быть отмечено уже на 60–65-е сутки после всходов. При этом формируется приемлемый для засушливых условий, но невысокий урожай от 1,6 до 2-х тонн.

В 2019–2021 гг. нами была собрана информация об особенностях формирования основных признаков в различных экологических нишах: СибНИИРС (северная лесостепь Новосибирской области); сортоучастки Красноярского края – Уярский ГСУ (Канско-Красноярская степь); Назаровский ГСУ (лесостепь Причудлымья); Минусинский ГСУ (степь предгорий). Самая высокая урожайность получена у сорта Новосибирская 15 на Уярском сортоучастке – 6,25 т/га. Самая низкая продуктивность отмечена у сорта Новосибирская 15 на Назаровском ГСУ. Средняя урожайность по всему комплексу исследования – 4,82 т/га.

Самый короткий вегетационный период отмечен у сорта Новосибирская 16–73 дня на Уярском ГСУ, самый продолжительный – на Минусинском сортоучастке у сортов Новосибирская 15 и Новосибирская 16, 87 и 88 суток соответственно. Продолжительный вегетационный период опосредован в зонах степи предгорий и лесостепи Причудлымья пониженным количеством тепла в этих зонах.

Наиболее высокий показатель содержания клейковины в зерне отмечен у сорта Новосибирская 16 на Уярском сортоучастке в связи с более высоким плодородием почвы и современными подходами к технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

В заключение следует отметить, что все выявленные результаты выращивания раннеспелых сортов свидетельствуют о перспективности их использования в практическом растениеводстве, в том числе на территориях с максимально укороченной вегетацией (рисунок).

Работа выполнена в рамках тем № НИР № 0259-2021-0018 ФИЦ ИЦиГ СО РАН.

Таблица. Разнообразие сортов Сибирского региона по генам, влияющих на сроки колошения.

генотип					тип созревания	вегетация
Иртышанка 10	Vrn A1a	Vrn B1a	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Среднеран.	80 – 93
Тюменская 80	Vrn A1a	vrn B1	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Среднеран.	72 – 80
Новосибирская 22	Vrn A1a	vrn B1	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Раннеспел.	69 – 79
Новосибирская 29	Vrn A1a	vrn B1	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Среднеран.	70 – 78
Новосибирская 15	Vrn A1a	Vrn B1a	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Раннеспел.	67 – 74
Тюменская 80	Vrn A1a	vrn B1	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Среднеран.	72 – 80
Новосибирская 22	Vrn A1a	vrn B1	Ppd-D1b	Ppd-B1b	Раннеспел.	69 – 79
Тулун 15	Vrn A1a	Vrn B1a Vrn B1c	Ppd-D1a	Ppd-B1b	Раннеспел.	76 – 88

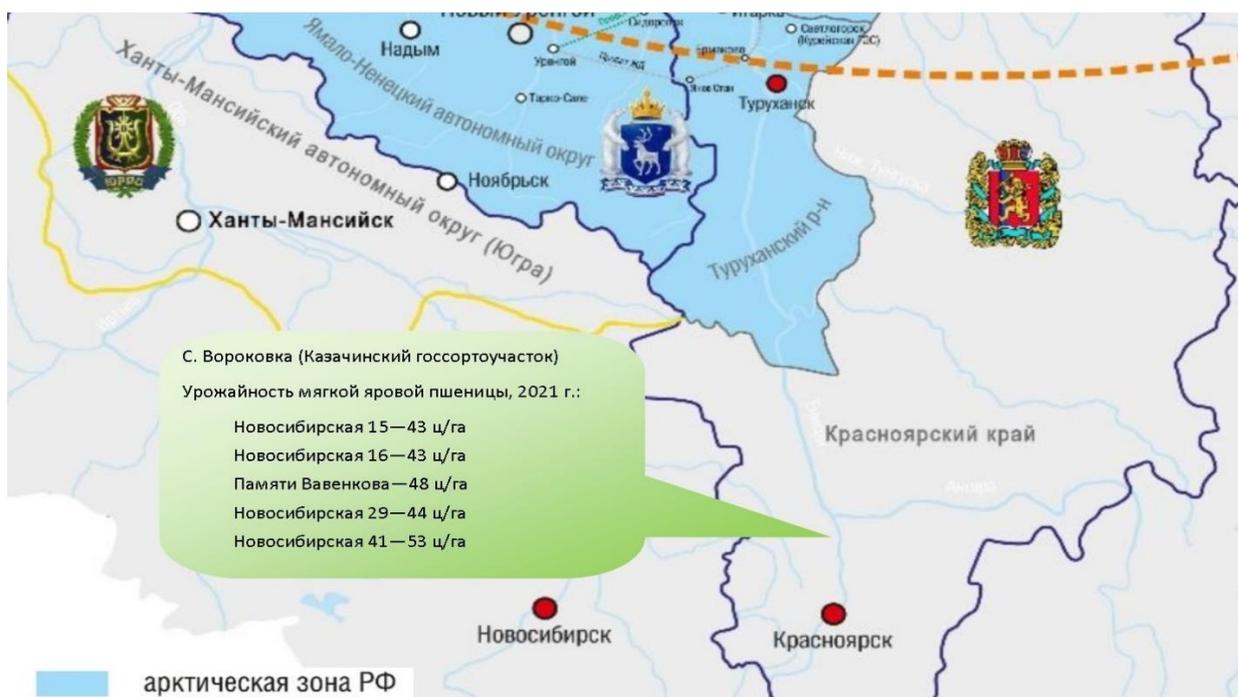


Рисунок. Местонахождение в Красноярском крае Казачинского сортоучастка (самый северный в Госсортсети Красноярского края) и результаты государственного сортоиспытания 2021 года.

## **АДАПТАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ К ПОТЕПЛЕНИЮ КЛИМАТА – НОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ**

Новикова Л.Ю., Озерский П.В.

*Федеральный исследовательский центр*

*Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург, Россия*

Современные глобальные изменения климата формируют новый природно-ресурсный потенциал Европейской территории России (ЕТР). Повсеместное увеличение теплообеспеченности, неустойчивый режим увлажнения, повышение экстремальности агрометеорологических факторов имеют для сельского хозяйства как положительные последствия, в виде включения новых территорий, так и отрицательные, в виде ущерба, наносимого традиционному ведению хозяйства южных регионов. Расчет агроклиматических показателей и их трендов по суточным данным Росгидромета 1980–2019 гг. показал, что теплообеспеченность активной вегетации растений продвигается на север в среднем на 1° широты за 10 лет. На севере ЕТР наблюдается ряд позитивных трендов условий перезимовки (рисунок) – увеличение продолжительности безморозного периода, температуры января, снижение числа дней с опасными для зимующих культур температурами ниже –20 °С. Южнее 60°N в ряде регионов наблюдается ряд негативных, пока слабо выраженных, тенденций: понижение минимальной температуры зимы, увеличение количества дней с температурами ниже –20 °С. Многие страны рассматривают возможность адаптации сельского хозяйства смещением зон возделывания культур к северу. Анализ многолетних наблюдений за картофелем на опытных станциях ВИР подтвердил, что на Полярной опытной станции ВИР (Мурманская обл.) в последние десятилетия наблюдается ускорение цветения, рост урожайности и крахмалистости, вызванные ростом температур, при этом на более южных станциях наблюдалось снижение урожайности ряда стандартных сортов. Таким образом, рост теплообеспеченности северных территорий повышает уровень продуктивности их агроэкосистем, что дает возможность частично компенсировать потери, нанесенные изменением климата сельскому хозяйству южных регионов, при принятии соответствующих мер адаптации.

Работа выполнена в рамках темы ГЗ № 0662-2019-0004 ВИР.

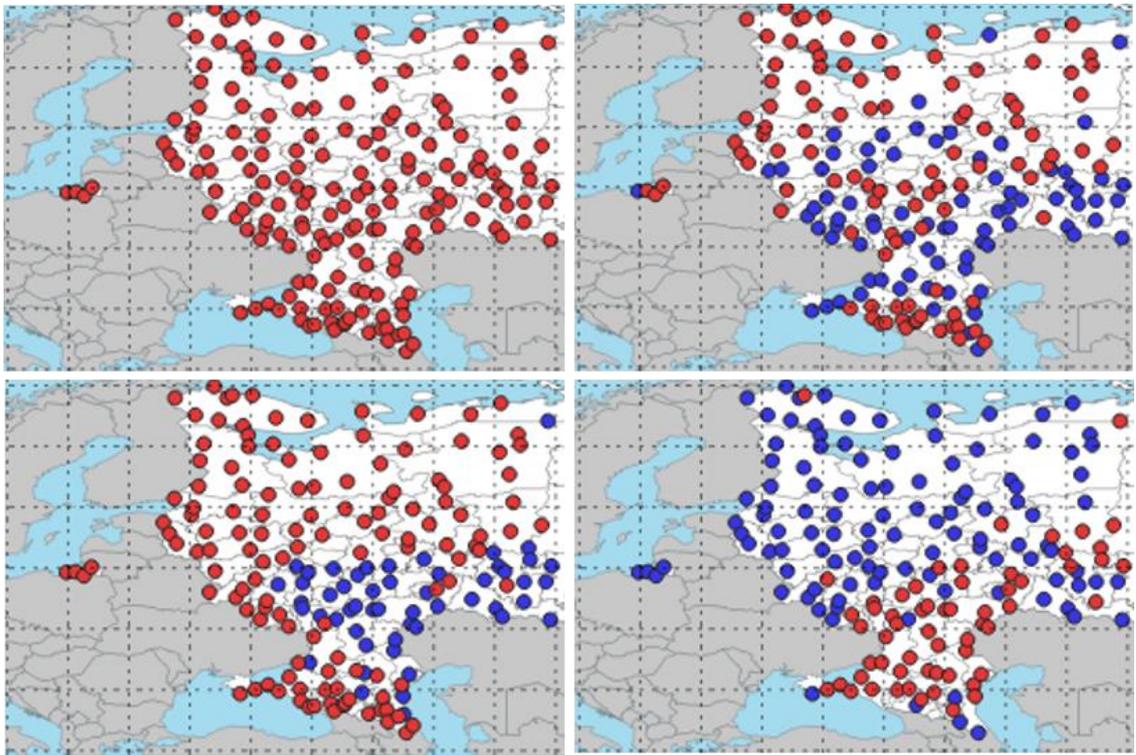


Рисунок. Направление изменений агроклиматических показателей на метеостанциях европейской территории России в 1980–2019 гг. В точках, отмеченных красным, наблюдается тенденция к увеличению, синим – к уменьшению показателей: вверху слева – сумм активных температур, вверху справа – сумм осадков за период активной вегетации, внизу слева – температуры января, внизу справа – числа дней с температурами ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

# ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК КОРНЯ РАСТЕНИЙ К НИЗКИМ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ: СИСТЕМНО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Сизенцова Я.Г., Миронова В.В.

*Институт Цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия;  
Университет Радбауда, Наймеген, Нидерланды*

Меристема кончика корня представляет собой группу активно делящихся стволовых клеток, обеспечивающих непрерывный рост растений в течение всей жизни. Показано, что воздействие холода вызывало селективную гибель дочерних стволовых клеток колумеллы в меристеме корня арабидопсиса, этот акклиматизационный процесс увеличивал выживаемость растений и облегчал их восстановительный рост (Hong et al., 2017). Холодовой стресс подавляет экспрессию PIN транспортеров, участвующих в распределении фитогормона ауксина, и уменьшает его концентрацию в меристеме кончика корня (рисунок). Моделирование распределения ауксина в корне растений при воздействии холодом показало, что селективная гибель потомков стволовых клеток кончика корня приводит к перераспределению концентрации ауксина с локальным максимумом в стволовых клетках корня. Анализ корней арабидопсиса продемонстрировал, что растения с селективной гибелью дочерних стволовых демонстрировали повышенную выживаемость в ответ на холод и другие стрессы.

Для поиска регуляторов специфической реакции меристемы корня на холод, мы провели систематический анализ холод-индуцированных транскриптомов арабидопсиса. Так были найдены транскрипционные факторы, которые с одной стороны повышают свою экспрессию на холод, а с другой стороны регулируют экспрессию генов-мишеней, которые также повышают свою экспрессию в ответ на холод. Анализ последовательностей геномов 1135 экотипов арабидопсиса позволил выявить мутации, ассоциированные с пониженной устойчивостью растений к холоду. Ведется исследование растений мутантных по предсказанным регуляторам холодового стресса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках Проекта № 20-44-543005.

## Литература

Hong J.H, Savina M., Du J., Devendran A., Kannivadi Ramakanth K., Tian X., Sim W.S., Mironova V.V., Xu J. A Sacrifice-for-Survival Mechanism Protects Root Stem Cell Niche from Chilling Stress // Cell. 2017. Vol. 170, N 1. P. 102-113.e14. DOI: 10.1016/j.cell.2017.06.002

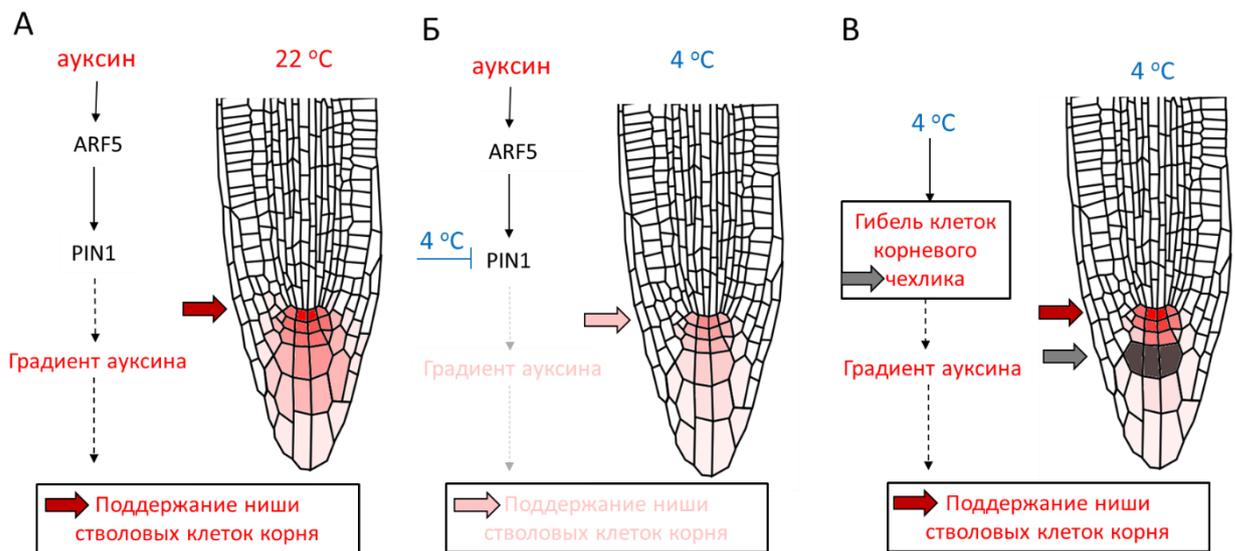


Рисунок. Механизмы поддержания ниши стволовых клеток в меристеме корня арабидопсиса в условиях холода. (А) Ауксин в норме регулирует формирование своего распределения в кончике корня. (Б) Низкие температуры (4 °С) подавляют экспрессию транспортера ауксина и уменьшают концентрацию ауксина в меристеме корня. (В) Селективная гибель дочерних клеток корневого чехлика у растений, растущих при 4 °С, обеспечивает поддержание максимума концентрации ауксина, и нишу стволовых клеток в целом (Hong et al., 2017).

## БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНЫЙ СИМБИОЗ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ПАСТБИЩНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Карлов Д.С.<sup>1</sup>, Гуро П.В.<sup>1</sup>, Сазанова А.Л.<sup>1</sup>, Сексте Э.А.<sup>1</sup>, Алехина И.А.<sup>2</sup>, Лащинский Н.Н.<sup>3</sup>,  
Белимов А.А.<sup>1</sup>, Сафронова В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия*

<sup>2</sup> *ГНЦ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*

Глобальное изменение климата сопровождается существенной перестройкой всей арктической экосистемы, что связано с активным продвижением растительных сообществ на север, заполнением новых экологических ниш и вытеснением аборигенной флоры. На таких территориях могут формироваться пастбищные фитоценозы, существенную часть которых составляют бобовые растения, вступающие в симбиотические взаимоотношения с азотфиксирующими клубеньковыми бактериями (ризобиями). Такая взаимовыгодная стратегия позволяет бобовым растениям осваивать новые территории благодаря широкой экологической пластичности и устойчивости к стрессовым факторам окружающей среды, одним из которых является низкое содержание гумуса в почве. Бобовые растения являются основным источником белка как для травоядных сельскохозяйственных животных, так и для диких северных оленей и овцебыков. С целью поиска и сбора семян и клубеньков арктических дикорастущих бобовых растений была проведена экспедиция в район дельты реки Лены и окрестностей п. Тикси (Северная Якутия). В ходе экспедиции были обнаружены популяции 13 видов бобовых растений, принадлежащих к родам *Astragalus*, *Oxytropis*, *Hedysarum*, *Vicia* и *Lathyrus*. Присутствие вида *L. palustris* L. на острове Самойловский, расположенном в дельте Лены, было описано нами впервые. На первом этапе работы из 13 корневых клубеньков популяций *Lathyrus palustris* и *Vicia cracca* L. было выделено 18 изолятов. На основе анализа гена 16S рРНК (*rrs*) они были отнесены к клубеньковым бактериям родов *Rhizobium*, *Mesorhizobium* и *Bosea* (порядок Rhizobiales, Alphaproteobacteria). Из них три изолята показали низкий уровень сходства (< 99,5 %) с ближайшими типовыми штаммами *Rhizobium giardinii* H152 и *Bosea lathyri* R-46060, что может свидетельствовать об их принадлежности к новым видам ризобий. Изучение биоразнообразия клубеньковых бактерий в арктических бобовых растениях и почвах арктических регионов России позволит расширить спектр видов этих бактерий. Практическая ценность работы заключается в создании и долгосрочном поддержании коллекции холодоустойчивых ризобияльных штаммов, что позволит сохранить ценные генетические ресурсы для их последующего использования в сельском хозяйстве, в том числе при формировании высокопродуктивных пастбищных агрофитоценозов в условиях Крайнего Севера.

Работа проведена при поддержке гранта РНФ № 20-76-10042.



Рисунок. Дельта реки Лены (Северная Якутия). Места сбора дикорастущих бобовых растений в районе дельты реки Лены (слева) и окрестностей п. Тикси (справа).

## ПОТЕНЦИАЛ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ШПИНАТА (*Spinacia L.*) ВИР ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РФ

Соколова Д.В.

*Федеральный исследовательский центр*

*Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*

*Санкт-Петербург, Россия*

Условия современной жизни, экологические проблемы на фоне ухудшения здоровья населения предъявляют новые требования к питанию. Для улучшения его качества, во многом определяющего здоровье нации, огромное значение приобретает содержание в продуктах биологически активных веществ. Эту проблему помогает решить употребление в пищу овощей, обладающих ценными пищевыми и лечебными свойствами, в частности шпината. Для северных регионов РФ ключевое значение имеют скороспелость и морозостойкость культуры. Короткий период вегетации и высокая холодостойкость делают шпинат одной из перспективных зеленых культур: для формирования розетки листьев достаточно 25-35 дней. Растения шпината переносят заморозки до  $-10^{\circ}\text{C}$ , в фазе розетки они могут зимовать под снежным покровом, поэтому возможны и озимые посевы. Культура не является популярной в России, но площади ее выращивания увеличиваются с каждым годом. Шпинат употребляют в свежем виде, используют в консервной промышленности для производства супов, пюре, соков, а также в детском и диетическом питании. Он ценится за высокое содержание аскорбиновой кислоты, каротина, витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, Р, РР, фолиевой кислоты, биотина, токоферола. В нем присутствуют железо, натрий, калий, кальций, магний, фосфор, сахара, белок, жиры, органические кислоты: яблочная, лимонная, щавелевая. Благодаря высокому содержанию органических кислот при консервировании и сушке питательная ценность шпината не изменяется.

Изучение потенциала генетических ресурсов коллекции шпината ВИР имеет важное значение для расширения сортимента сельскохозяйственных культур, пригодных для выращивания в северных регионах РФ, и обогащения питания населения свежими и полезными овощами.

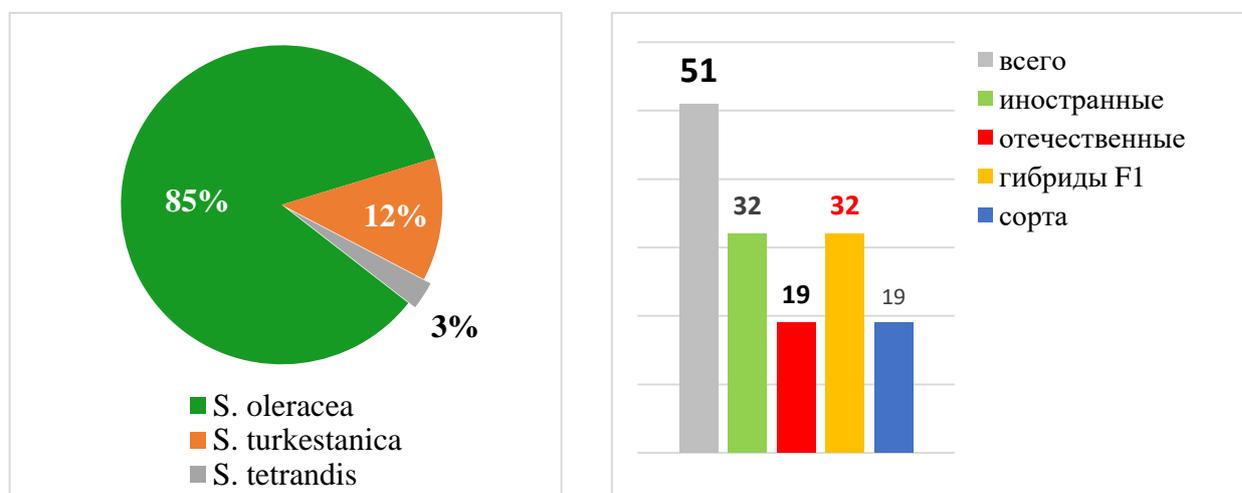


Рисунок. Структура генетической коллекции шпината ВИР (слева) и селекционные достижения РФ, включенные в Госреестр на 2021 год (справа)

## ТЕЗИСЫ

«Сельскохозяйственные животные, морские млекопитающие и промысловые рыбы в условиях Крайнего Севера: сохранение и изучение генетических ресурсов, селекция, междисциплинарные исследования»

# КОНВЕРГЕНТНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГЕНОМОВ ДОМАШНИХ И ДИКИХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО (АРКТИЧЕСКОГО) КЛИМАТА

Ромашов Г.А.<sup>1</sup>, Юдин Н.С.<sup>1,2</sup>, Ларкин Д.М.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

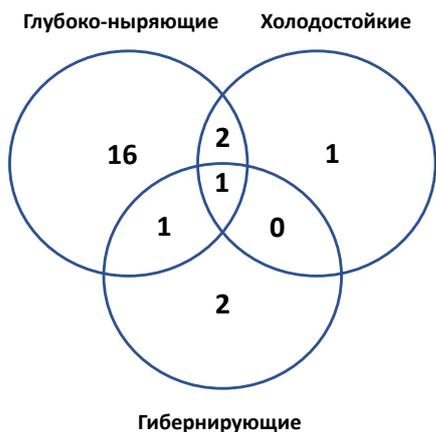
<sup>2</sup>Курчатовский геномный центр, Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Королевский ветеринарный колледж, Университет Лондона, Лондон, Великобритания

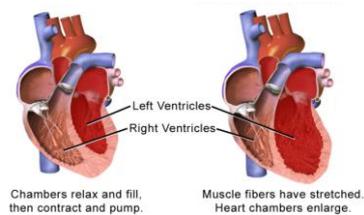
Арктика является пограничным ареалом для нескольких видов животных, в том числе и домашних видов. Суровые климатические условия и скудная кормовая база приводят к необходимости быстрой адаптации этих видов и пород к локальным условиям обитания. В нашей работе мы сфокусировались на изучении генетики самой северной популяции домашнего крупного рогатого скота (КРС) – якутского скота. Анализ наших данных секвенирования геномов якутского скота проводился в рамках международного проекта «1000 геномов быков», что позволило нам точно определить историю каждого нуклеотида в геноме этой породы. Мы обнаружили ряд следов отбора в генах и специфические кандидатные нуклеотидные замены, которые отвечают за адаптивные признаки. Для ранжирования кодирующих нуклеотидных замен, формирующихся в ответ акклиматизацию, были применены алгоритмы поиска следов конвергентной эволюции в геноме якутского скота и 11 видов холодостойких (включая арктических), гибернарующих и глубоко ныряющих (включая арктических) животных, обладающих схожими адаптивными признаками. В результате была обнаружена конвергентная породоспецифическая кодирующая нуклеотидная замена (H100Q) в гене *NRAP*, отвечающем за работу сердца и мышц, у гибернарующих, холодостойких, глубоко ныряющих животных, арктических рыб и у якутского скота, которая, по-видимому, является ключевой для эффективной работы сердца в условиях арктического климата. С использованием аннотированного генома якутского скота была подтверждена конвергентная природа мутации в *NRAP* и найдены дополнительные конвергентные мутации в 19 генах холодостойких/гибернающих/глубоко ныряющих видов и якутского скота, включающие *PLA2G4F* и *PAFANI1B2*, которые подвержены селекции у сибирских народностей, *MRGPRF*, отвечающий за чувствительность к боли и *POPDC2*, вовлеченный в формирование сердечного ритма.

Наша работа показывает перспективность изучения как арктических видов животных, так и пород домашних животных, которые обитают в арктических условиях для выявления генетических мутаций, связанных с адаптацией. Эти мутации могут быть использованы для увеличения эффективности и/или акклиматизации высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных для использования в условиях Крайнего Севера, изучения механизмов гибернации и в медицинских целях.

Проект финансируется Курчатовским геномным центром ИЦиГ СО РАН (соглашение 075-15-2019-1662) и проектом РНФ №19-76-20026.



**Здоровое сердце      Кардиомиопатия**



Мутации в NRAP вызывают кардиомиопатию у человека и мыши



Аминокислота якутского скота (Q) представлена у всех птиц, но не у других рептилий. Арктическая рыба (колючий скат) также имеет эту мутацию, которая не наблюдается у других, более южных, рыб.

Рисунок. Слева – количество конвергентных кодирующих нуклеотидных замен у якутского скота и 11 гибернирующих/глубоко ныряющих/холодостойких видов млекопитающих; центр – якутская корова; справа – эффект мутаций в гене NRAP на функцию сердца человека и мыши и наличие мутации H100Q у других видов животных (не млекопитающих).

## ГЕНЕТИКА СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ – РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОРЕСУРСОВ АРКТИКИ

Крутикова А.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Санкт-Петербург, Россия*

Северный олень (*Rangifer tarandus*) – основное звено биосистемы Арктики, единственный объект хозяйственной деятельности коренных народов Крайнего Севера, их культура и традиции, а также важное звено в реализации программ продовольственной безопасности страны с целью обеспечения полноценными мясными продуктами населения северных территорий. Уникальный генетический потенциал четырех пород домашнего северного оленя, выведенных и зарегистрированных в эпоху Советского Союза, был утрачен в постсоветский период. Современные исследования генетической структуры популяций домашнего и дикого северного оленя имеют значение как для оценки и сохранения генетического разнообразия вида в целом, так и для племенной работы, направленной на повышение мясной продуктивности пород домашнего северного оленя. Исследования осложнены отсутствием в международных базах генетических данных полностью секвенированного генома северного оленя. Однако проведенное во ВНИИГРЖ таргетное секвенирование кодирующих участков генов *GH* и *LCORL*, ассоциированных с фенотипической вариабельностью по живой массе и мясной продуктивности у исследованных видов сельскохозяйственных животных, позволило выявить варианты генетического полиморфизма (SNPs и In/Del), а также различия по частоте встречаемости генотипов по выявленным полиморфизмам как между популяциями дикого и домашнего северного оленя, так и между породами домашнего оленя. Данные исследований позволят вести мониторинг с целью сохранения генетического разнообразия популяций и пород дикого и домашнего северного оленя, а также использовать панель молекулярно-генетических маркеров в селекции для повышения генетического потенциала и мясной продуктивности пород домашнего оленя, что внесет существенный вклад в выполнение Указа Президента Российской Федерации «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года».

Работа выполнена в рамках темы НИР № 0445-2021-0010 ВНИИГРЖ.



## ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ

Харзинова В.Р.<sup>1</sup>, Доцев А.В.<sup>1</sup>, Соловьева А.Д.<sup>1</sup>, Лайшев К.А.<sup>2</sup>, Охлопков И.М.<sup>3</sup>,  
Мамаев Н.В.<sup>3</sup>, Романенко Т.М.<sup>4</sup>, Федоров В.И.<sup>5</sup>, Шимит Л.Д.<sup>6</sup>, Южаков А.А.<sup>2</sup>,  
Сенчик А.В.<sup>7</sup>, Зиновьева Н.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста (ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста), Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения (СЗЦППО-СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН, Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия*

<sup>4</sup> *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Нарьян-Марский филиал РАН-Н-МСХОС, Нарьян-Мар, Россия*

<sup>5</sup> *Якутский научный центр Сибирского отделения РАН, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафонова (ЯНИИСХ), Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия*

<sup>6</sup> *Тувинский государственный университет (ТувГУ), Республика Тыва, Кызыл, Россия*

<sup>7</sup> *Дальневосточный государственный аграрный университет (Дальневосточный ГАУ), Владивосток, Россия*

В настоящей работе представлены результаты исследований аллелофонда, генетической структуры и степени генетической дифференциации 730 северных оленей домашней и дикой популяций по 14 STR-маркерам. Исследуемая выборка была представлена животными ненецкой породы основных регионов разведения, в том числе Ненецкого (NEN\_N, n = 142) и Ямало-Ненецкого автономного округа (NEN\_Y, n = 46), Архангельской (NEN\_A, n = 40) и Мурманской (NEN\_M, n = 43) областей, Республики Коми (NEN\_K, n = 42) и Таймырской области (NEN\_T, n = 52); эвенской (EVN, n = 33), чукотской-харгин (CHUKH, n = 35), чукотской (CHU, n = 47) и эвенкийской (EVK, n = 29) пород, тувинской популяции домашнего северного оленя (TUV, n = 32), а также восточной (WLD\_T\_E, n = 13), западной (WLD\_T\_W, n = 37) популяций дикого оленя Таймыра, лено-оленекской (WLD\_Y\_LNO, n = 64), дельтовской (WLD\_Y\_D, n = 19), островной (WLD\_Y\_NS, n = 13), сундрусской (WLD\_Y\_SUN, n = 29) популяций дикого оленя Якутии, таежной популяции Амурской области (WLD\_Y\_TGA, n = 14). Были рассчитаны параметры наблюдаемой ( $H_o$ ) и несмещенной ожидаемой гетерозиготности ( $H_e$ ), рарифицированное аллельное разнообразие ( $A_R$ ) и коэффициент инбридинга ( $F_{is}$ ) с доверительным интервалом 95% (CI). Используя матрицу попарных значений Jost'sD, было выполнено построение Neighbor-Net дендрограммы с использованием программного обеспечения SplitTree. Анализ главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) проводили с помощью R пакета adegenet с визуализацией в R пакете ggplot2. Для создания исходных файлов использовали R версию 3.3.2. Для проведения вышеперечисленного анализа данных использовали R пакет “diveRsity” с последующей визуализацией в пакете “pophelper”.

Во всех исследованных популяциях северного оленя наблюдаемая гетерозиготность варьировала у диких оленей от 0.541 (WLD\_Y\_TGA) до 0.786 (WLD\_Y\_NS) и у домашних от 0.551 (TUV) до 0.682 (EVK). Распределение значений несмещенной ожидаемой степени гетерозиготности у большинства домашних и у всех групп диких оленей имело практически схожие высокие значения (выше 0,7). Исключение составили олени Чукотского АО, у которых значение показателя было минимальным ( $u_{HE} = 0.674$ ). Показатель аллельного разнообразия ( $A_R$ ) находился в пределах от 5.857 у WLD\_Y\_NS до 8.358 у NEN\_N. У 15 из 18 исследованных групп северных оленей, был выявлен дефицит гетерозигот, с максимальными положительными значениями показателя у домашних оленей тувинской популяции ( $u_{FIS} = 0.241$ ) и у диких оленей Амурской области ( $u_{FIS} = 0.351$ ).

Характер выявленных связей при построении филогенетического дерева на основе матрицы попарных генетических дистанций JostD (рис. 1) главным образом обусловлен географической локализацией исследуемых групп. Было выявлено два основных кластера, сформированных ненецкой породой всех регионов разведения и породами Республики Саха с ответвлением от них ветви тувинской популяции. При этом чукотская порода отходила от основного кластера отдельной ветвью. Дикие популяции также сформировали кластеры в соответствии с их географической локализацией.

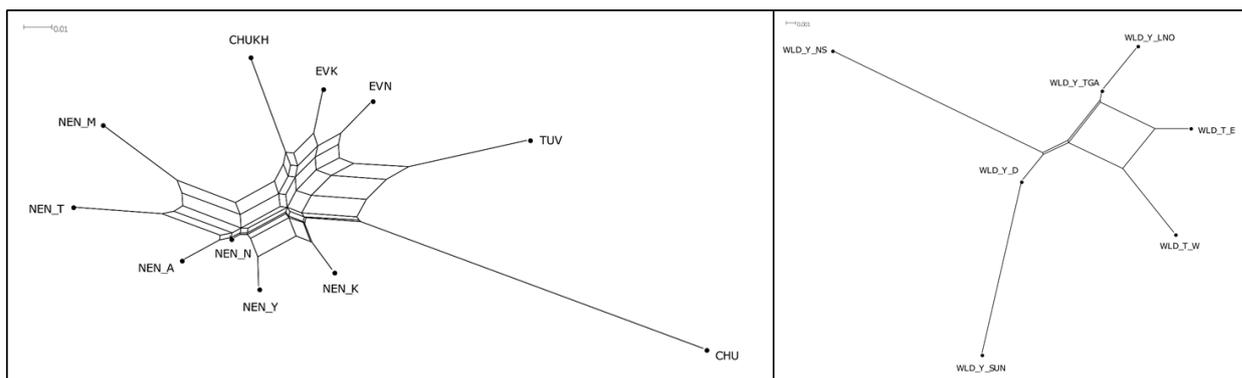


Рис. 1. Neighbour-Net дендрограмма взаимоотношений пород домашнего и популяции дикого северного оленя, построенная на основе матрицы попарных генетических дистанций Jost's D по алгоритму «сети соседей».

Проекция особей пород домашнего и популяций дикого северного оленя в пространстве двух координат по данным PCA-анализа (рис. 2) не выявила четкой кластеризации исследуемых групп северного оленя: все группы сформировали один крупный массив с отделением от него особей чукотской породы.

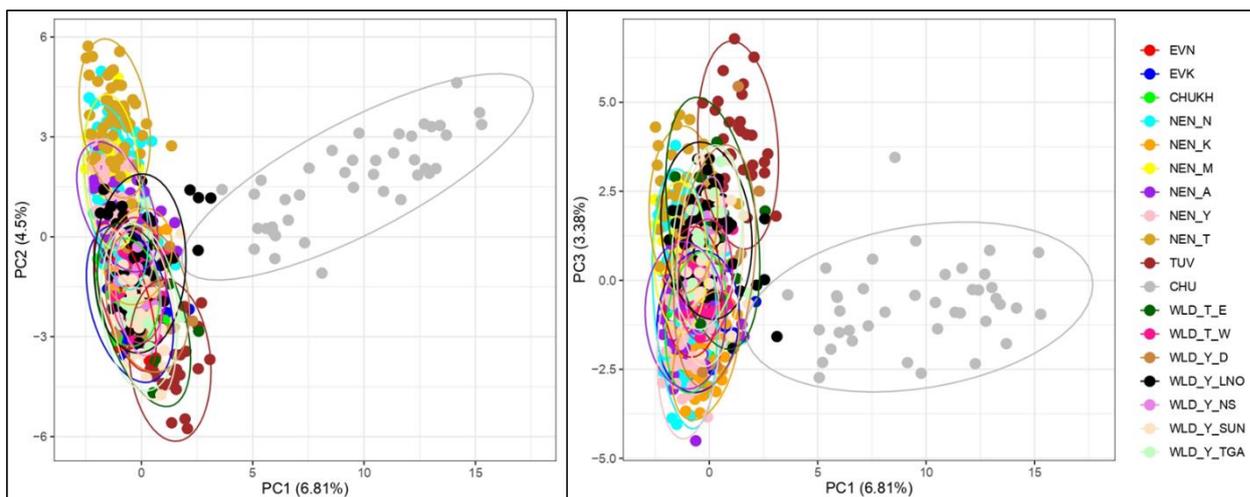


Рис. 2. Проекция особей пород домашнего и популяции дикого северного оленя на плоскости двух координат по данным PCA-анализа.

Таким образом, на основании анализа изменчивости микросателлитов, нами получены наиболее полные данные о биоразнообразии домашней и дикой популяций северного оленя как ценного представителя арктических экосистем и основного вида сельскохозяйственных животных Российского Севера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-16-00071. При проведении исследований использовано оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНА ВМР-2 С ПРОДУКТИВНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ У РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

Щербаков Ю.С., Терлецкий В.П.

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Санкт-Петербург, Пушкин, Россия*

Радужная форель является широко распространённым холодноводным объектом в аквакультуре. С 2018 года лаборатория молекулярной генетики ВНИИГРЖ занимается изучением генетических особенностей радужной форели в условиях Северо-Запада. В настоящее время ведется изучение популяции радужной форели породы ропшинская золотая. Она отличается повышенной мясной продуктивностью и отличительной желтой окраской. Данная порода хорошо подходит для выращивания в условиях Крайнего Севера так как имеет повышенную устойчивость к изменениям условий внешней среды, лучше противостоит бактериальным заболеваниям. Сбор биологического и фенотипического материала проводился на базе с Федеральным селекционно-генетическим центром рыбоводства (ФСГЦР), расположенным в поселке Ропша. Были получены данные по следующим показателям: масса, длина тела по Смиуту, длина до конца чешуйчатого покрова, длина головы, высота тела, толщина тела. Был проведен анализ метрических показателей у радужной форели методом главных компонент (РСА). В основу нашего исследования был взят дублированный вариант гена костного морфогенетического белка 2 (ВМР-2). Этот ген влияет на набор биомассы тела. Было проведено секвенирование экзонов гена ВМР-2, расположенного на 4 хромосоме и 24 хромосоме. В результате мы обнаружили достоверные ассоциации в третьем экзоне гена ВМР-2, расположенного на 24 хромосоме по признакам: длина до конца чешуйчатого покрова, длина по Смиуту. Проведенные исследования будут способствовать развитию аквакультуры в северных регионах.

Работа выполнена в рамках тем НИР № 0445-2021-0010.

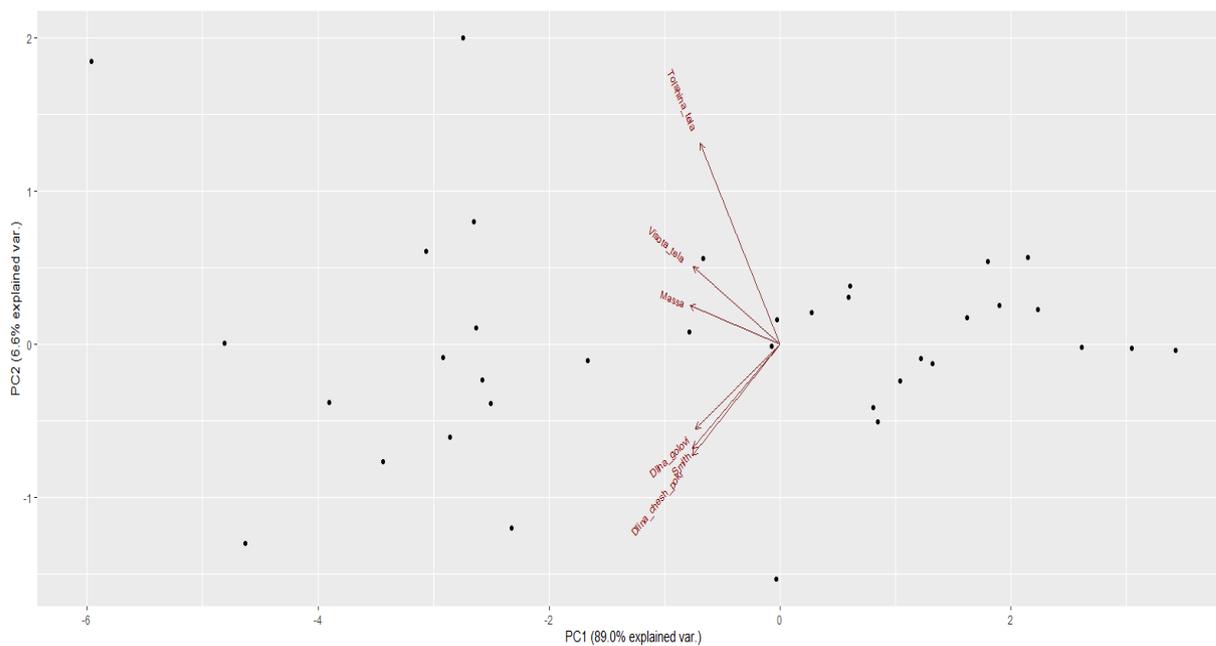


Рисунок. График главный компонент, который показывает взаимосвязь фенотипических признаков радужной форели породы ропшинская золотая.

## КЛИМАТ, БОЛЬШАЯ ПОЛИТИКА И МЕГАФАУНА

Зимов С.А.

*Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Северо-восточная научная станция, Республика Саха (Якутия), Россия*

В прошлом, до расселения человека по планете, на территории России ни перегущенных захламленных лесов, ни моховых комариных редколесий и тундр не было. Везде доминировали мамонтовые степи, саванны и парковые леса, в которых сотни миллионов крупных животных, удобряя почву, вытаптывая мхи и прореживая деревья и кустарники, сами поддерживали и расширяли свои пастбища. По В.И. Вернадскому эволюция – это увеличение скорости биокруговорота. Пастбищные экосистемы самые молодые, это ее вершина. Злаки дают несколько урожаев, а в теплых желудках, независимо от климата, биомасса быстро превращается в удобрения. В Сибири под современными почвами, которые оттаивают летом, лежат богатые органикой мерзлые древние почвы мамонтовой степи. В них много костей бизонов, лошадей, мамонтов, северных и благородных оленей, овцебыков, носорогов..., а еще много спящих микробов. Мерзлота – крупнейший резервуар органического углерода. В нем его 1650 миллиардов тонн (гигатонн, Гт), в почвах его 1500 Гт, а в растительности мира всего 650 Гт (500 Гт в древесине). Учитывая, что средний возраст лесов 100 лет, средний прирост углерода в древесине всего 5 Гт в год, а ежегодные антропогенные выбросы углерода в атмосферу в виде CO<sub>2</sub> – уже 10 Гт. В России разница еще больше – в мерзлоте углерода 1000 Гт, в почвах – 320 Гт, а в древесине только 25 Гт. Наши леса большей частью – моховые редколесья. Они – 20 % от мировой площади лесов, но только 5 % от глобальных запасов древесины. В тропических почвах углерода очень мало, а его максимум – на севере. Это потому, что скорость разложения органики в почвах очень сильно, экспоненциально зависит от температуры. При этом пастбищные, травянистые экосистемы накапливают органики значительно больше, чем леса. Эта органика лежит в почве и не боится пожаров. Наши черноземы – мировые рекордсмены по запасам углерода. Среднегодовая температура в России уже поднялась на 3,22 °С. При этом у нас разница температур между границей тундры и границей степей, например, между Салехардом и Новосибирском всего 6 °С. Экосистемы прошлого в новых условиях не сохранить – короеды, шелкопряд, пожары их уничтожат, появятся новые. Какие? Особенно драматичные изменения будут в Восточной Сибири. Здесь повсеместно моховые леса растут в сухом степном климате. Здесь тепла к земле приходит в 2-3 раза больше, чем требуется, чтобы испарить все осадки (радиационный индекс сухости равен 2-3). Почвы здесь переувлажненные только потому, что мерзлота препятствует дренажу и здесь много мхов, а они медленно растут и мало испаряют воды. У них нет корней. Почвы и мерзлота нагреваются вслед за климатом и даже сильнее, потому что в Сибири увеличилась высота снега. Он хороший теплоизолятор и не дает почвам охлаждаться зимой. Дополнительные 10 см снега повышают среднегодовую температуру почв на 1,2 °С. Поэтому почвы в Сибири уже нагрелись на 4-6 °С. При потеплении разложение органики ускоряется, и все наши почвы теряют углерод. А так как эти резервуары громадные, то компенсировать, связанную с этим эмиссию CO<sub>2</sub>, нечем. Когда мерзлота оттаивает, просыпаются микробы и начинают доедать древнюю органику,

выделяя парниковые газы, а заодно и тепло, что ускоряет таяние. Мерзлота уже подтаивает везде, а там, где она была теплее чем  $-4\dots-6$  °С, ее кровля уже опустилась на 1-10 м. Даже в Якутской Арктике местами она опустилась на 4 м. О том, что наша мерзлота начала таять и «задышала», говорят данные глобальной сети мониторинга концентраций парниковых газов. Из-за ковида их антропогенная эмиссия резко уменьшилась. Но рост атмосферных концентраций  $\text{CO}_2$  и метана не только не замедлился, но даже ускорился. Особенно метана. Сейчас его рост рекордный, и это только начало. Если потепление продолжится теми же темпами, то через 15-20 лет эмиссия  $\text{CO}_2$  из мерзлоты достигнет 10 Гт в год. В анаэробных условиях, без кислорода, до четверти органики из мерзлых почв микробы превращают в метан. Мерзлота – самый мощный его природный источник. Там, где она сегодня интенсивно тает в анаэробных условиях, поток метана составляет сотни литров с квадратного метра в год. Поэтому климатический эффект от таяния мерзлоты может в 2-3 раза превысить эффект от глобальных антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ . Единственный способ охладить почвы и мерзлоту и замедлить глобальное потепление – это взамен гибнущих лесов возродить пастбищные экосистемы подобные мамонтовым саваннам. В прошлом во время всех ледниковых циклов сокращение лесов и расширение пастбищ всегда сопровождалось снижением концентраций  $\text{CO}_2$  и метана в атмосфере и похолоданием. При этом работают три эффекта.

1. В пастбищных экосистемах, чтобы за зиму съесть и превратить в удобрения все, что выросло за лето, животным несколько раз приходится перекапывать весь снег – он становится тонким, плотным и дырявым. В результате, среднегодовая температура почв и мерзлоты снижается на 3-4 °С.

2. Леса круглый год темные и поглощают 90 % энергии солнца, а поля, заросшие травами, светлые или белесые, а зимой белые, и поглощают лишь 10% – на порядок меньше. Эффект альбедо по сравнению с  $\text{CO}_2$  настолько сильный, что если все леса планеты уничтожить и превратить в  $\text{CO}_2$ , то климат в среднем станет лишь холоднее. А если проредить только тайгу (с этим справляются пожары), то в бореальной зоне на планете температуры воздуха снизятся на 3-6 °С.

3. На хорошо унавоженных пастбищах быстрорастущие травы своими мощными корнями быстро высушивают переувлажненные почвы и в поисках воды заполняют их органикой на всю глубину. В результате появляется немного «коровьего метана», а мощная эмиссия болотного газа исчезает. Больше пастбищ – меньше болот.

Все эти выводы проверены на математических моделях и в натуре – в «Плейстоценовом парке» в низовьях Колымы и в парке «Дикое поле» на юге Тульской области. Об этом проекте пишут и говорят все мировые СМИ, но не политики и «зеленые» активисты, которые нам советуют сокращать поля и пастбища. Да, к ископаемому топливу и лесам надо относиться бережно, но лишь этим потепление не остановить, и только Россия, контролируя бескрайнюю заснеженную территорию и крупнейшие резервуары углерода, может реально управлять климатом. Для этого на первом этапе необходимо создать сеть региональных парков – питомников по выращиванию пастбищных экосистем. На территориях, богатых травами, для этого необходимо лишь на огороженных участках собрать ранее обитавшие здесь виды. И здесь перед селекционерами и генетиками встает новая задача – на базе одомашненных видов возродить дикие (кстати, калмыцкие коровы и верблюды в снежном ландшафте «на воле» переходят на веточные корма), а еще – некоторые южные виды (львы, гиены, гепарды, грифы...) надо ускоренно адаптировать к

северным условиям. Работы по созданию «мамонтов» для «Плейстоценового парка» путем модификации генома слонов уже активно ведутся в Гарварде.

Возрождая пастбищные экосистемы, мы вернем настоящую природу, создадим комфортный пасторальный ландшафт без комаров, клещей и пожаров (в этих экосистемах гореть нечему, все подстрижено) и создадим глобальный резерв продовольствия – сотни миллионов голов скота и сотни миллионов гектаров плодородных земель.

## ТЕЗИСЫ

по направлению «Здоровье и долголетие населения северных территорий: генетические и междисциплинарные исследования (в том числе на модельных организмах)»

## ПОПУЛЯЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДЕМОГРАФИЯ НАРОДОВ СЕВЕРА

Харьков В.Н.<sup>1</sup>, Валихова Л.В.<sup>1</sup>, Колесников Н.А.<sup>1</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>2</sup>, Литвинов С.С.<sup>2</sup>,  
Екомасова Н.В.<sup>2</sup>, Степанов В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Научно-исследовательский институт медицинской генетики, Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Институт биохимии и генетики, Уфа, Россия*

Изучение структуры генофондов различных популяций является одним из приоритетных направлений современной генетики человека и помогает детально раскрыть часть вопросов, связанных с их этногенезом. Генофонд населения Сибири представляет собой уникальную систему с точки зрения исследования популяционно- и эволюционно-генетических процессов, анализа генетического разнообразия и реконструкции генетической истории популяций. Относительная изоляция населения от основных миграционных потоков на территории Евразии обеспечила сохранение в их генофонде древних генетических пластов, хранящих информацию о важнейших этапах заселения человеком современного типа не только Сибири, но и Европы, Центральной Азии и Америки. Было проведено масштабное популяционное исследование генофонда коренных народов Северной Евразии на уровне анализа полных геномов, высокоплотных биочипов и гаплогрупп Y-хромосомы. Полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне генетической дифференциации населения. Популяции Сибири выделяются на фоне других евразийских этносов значительно более высоким уровнем межэтнической и межрегиональной генетической дифференциации. Подробно охарактеризован состав генетических компонент на уровне популяций и отдельных образцов, который демонстрирует достоверную взаимосвязь с гаплогруппами Y-хромосомы, антропологической и языковой принадлежностью исследованных выборок, а также с информацией о их этногенезе. Дана подробная характеристика родственных взаимоотношений между различными этносами, субэтносами и родами в пределах одного этноса. Охарактеризованы сходства и различия в структуре состава компонент у разных народов. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на историю формирования генофонда народов Севера, анализируя межэтнические взаимосвязи и межпопуляционные различия по компонентному составу, различным блокам сцепления, уровню инбридинга и униродительским линиям.

Работа выполнена в рамках тем НИР лаборатории эволюционной генетики НИИ медицинской генетики ТНИМЦ РАН.

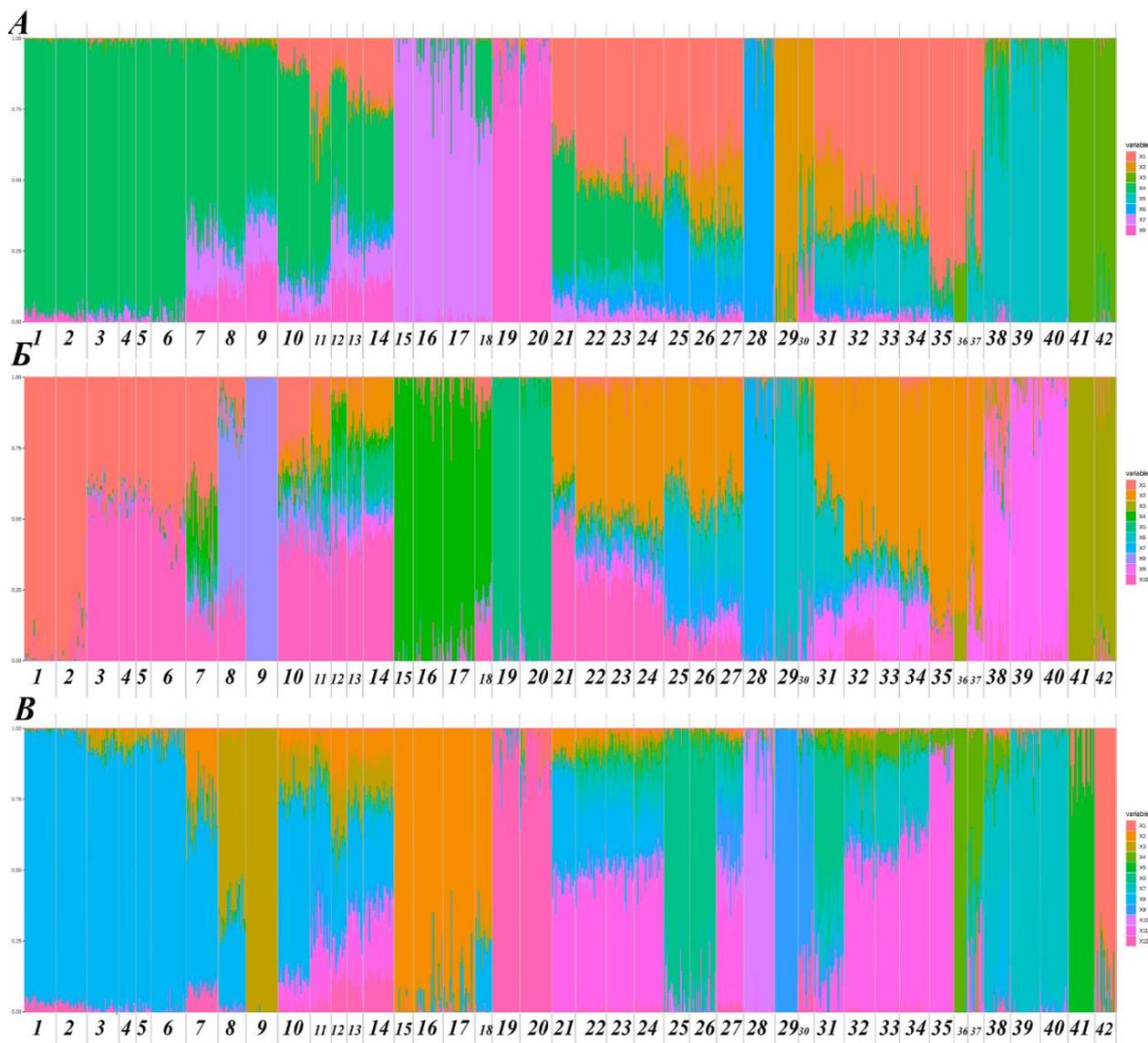


Рисунок. Упорядоченная картина генетических компонент при ранжировании популяций Северной Евразии с запада на восток для восьми (А), десяти (Б) и 12 (В) предковых компонент.

Примечание: 1 – вепсы, 2 – карелы, 3-5 мордва, 6 – русские, 7 – коми, 8 – чувашаи, 9 – марийцы, 10 – татары казанские, 11 – татары томские, 12-14 – башкиры, 15-17 – удмурты, 18 – бесермяне, 19-20 – ханты, 21 – узбеки, 22-23 – казахи, 24 – киргизы, 25-26 – алтайцы, 27-28 – хакасы, 29 – чулымцы, 30 – кеты, 31 – тувинцы, 32 – калмыки, 33-34 – буряты, 35 – дунгане, 36 – нивхи, 37 – удэгейцы, 38-39 - эвенки, 40 – якуты, 41 – чукчи, 42 – коряки.

# МИКРОБИОМ ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ, ЕГО РОЛЬ В АДАПТАЦИИ МАЛЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА К ПРОБЛЕМАМ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Даниленко В.Н.<sup>1,2</sup>, Юнес Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Россия*

Микробиота (микробиом) человека является эволюционно обусловленной фундаментальной основой иммунитета, нейроэндокринной регуляции, а также краткосрочным и долгосрочным резервом адаптаций к воздействию окружающей среды. Нарушение взаимоотношений между организмом хозяина и микробиотой, в частности кишечной, в результате различных экзо- и эндогенных стрессовых факторов приводит к изменению таксономического и генетического состава микробиоты, состояние известное как дисбиоз. Дисбиоз является ранним биомаркером и в ряде случаев – триггером различных заболеваний: неврологических, сердечно-сосудистых, аутоиммунных и др. Природные условия Арктики, к которым требуются адаптации, выработанные в течение долгих тысячелетий, как в случае малых народов Севера (МНС), являются серьезной угрозой для здоровья приезжего населения. Микробиом в условиях Арктики – это отличная модель для изучения адаптации организма человека к многофакторным стрессам. Изучение микробиома МНС позволит выявить сигнатуры (конкретные гены и бактерии, в состав которых они входят), обусловивших их адаптацию к специфическим условиям Арктики. Характеристика микробиома людей, пребывающих в течении недолгого времени в условиях Арктики (нефтяники, военные и др.), позволит выявить изменения, сопровождающие различные заболевания у них, в том числе и депрессивные расстройства. Формирующаяся концепция нейроактивного потенциала микробиоты открывает огромные возможности для снятия стрессов и повышения когнитивных способностей детей-школьников МНС, обучающихся в школах-интернатах. ИОГен РАН в последние годы ведет исследования роли микробиома (URL: <http://www.vigg.ru/>) в развитии различных неврологических заболеваний, сопряженных со стрессами: микробиома и аутизм, микробиома и депрессивного состояния (Averina O. et al., 2017, 2020, 2021; Kovtun A. et al., 2018, 2020; Fetissov S.O. et al., 2019; Danilenko V. et al., 2021). В лаборатории генетики микроорганизмов ИОГен РАН созданы препараты психобиотиков на основе уникальных штаммов лактобацилл и бифидобактерий (Yunes R. et al., 2016, 2020). Также активно исследуются роль микробиома в формировании когнитивных способностей школьников (Kovtun A. et al., 2020). Вместе с тем, с учетом роли микробиома в функционировании и адаптации организма к условиям Арктики, мероприятия, предусматривающие использование микробиома человека и животных в качестве генетических ресурсов и генетических технологий для развития биомедицинских исследований на северных территориях, необходимо включить в дальнейшие программы, создаваемые с целью исполнения Указа Президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

# **АКТУАЛЬНОСТЬ ФАРМАКОГЕНЕТИЧЕСКИХ И ФАРМАКОКИНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОРЕННОГО И ПРИШЛОГО НАСЕЛЕНИЯ СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА В РЕШЕНИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ**

Вавилин В.А., Макарова С.И., Николаев Ю.А., Ляхович В.В.

*Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины,  
Новосибирск, Россия*

В Сибирском отделении РАМН (ранее – АМН СССР) с начала 1970-х и до конца 1990-х активно проводились исследования особенностей здоровья и приспособительных процессов у коренного и пришлого населения к условиям Севера. В этих исследованиях определенное место занимали и работы по изучению ферментативной системы метаболизма чужеродных соединений, имеющей важное приспособительное значение в условиях меняющейся «химической составляющей» окружающей среды, формировании предрасположенности к полифакторным заболеваниям и особенностей их течения, ответа на лекарственную терапию. В экспедиционных исследованиях на территории Республики САХА (Якутия, г. Мирный), Алтайского края, Новосибирской области и городов Новосибирска и Новокузнецка нами получены фармакогенетические характеристики населения и данные по фармакокинетике тестовых лекарств для нескольких цитохромов P450 и N-ацетилтрансферазы, важных в метаболизме лекарств и промышленных загрязнителей. Результаты свидетельствуют о достаточной чувствительности фармакокинетических оценок с использованием в качестве тестовых лекарств селективных субстратов цитохрома P450 к воздействию производственной среды (рис. 1А). При совпадении частот функционально значимых полиморфных вариантов генов цитохромов у европеоидов Сибири и Западной Сибири имеют место фенотипические различия – диспропорции между быстрыми, промежуточными и медленными метаболитерами (рис. 1Б). Наблюдается значительная вариабельность фармакокинетических показателей внутри одного генотипа (на примере N-ацетилтрансферазы 2), поэтому статус ацетилирования не может быть абсолютно точно определен генетическими оценками, что сказывается на силе статистической значимости в оценках влияния статуса ацетилирования на уровень маркера гепатотоксичности – сывороточной АЛТ – при лечении изониазидом (рис. 1В).

Хотя генетическое разнообразие коренного населения Сибири и Крайнего Севера изучается усилиями ряда научных коллективов на протяжении ряда лет, эти работы далеки от завершения. Накопленный опыт может быть применен для развития персонализированной медицины в целях здоровьесбережения населения северных территорий.



**Б Фармакокинетические оценки ФБК в выборках европеоидов Западной Сибири**

Неиндуцибельные гены	Сибирь	Европа	Индукцибельные гены	Сибирь	Европа
Дебризохин, медленные метаболиты (P4502D6)	7,5%	5 -10%	Теofilлин (P450 1A2)		
			Быстрые	61,5%	20-37%
			Промежуточные	12,8%	51-67%
			Медленные	25,6%	12-13%
Сульфадимезин, медленные ацетилаторы (NAT2)	54%	52 - 56%	6 $\beta$ -ОН-кортизол/кортизол (P450 3A)	3,95 $\pm$ 3,5	8,4



Рис. 1 Сочетание фармакогенетического и фармакокинетического подходов в описании системы метаболизма ксенобиотиков в разных условиях производства (А), территории проживания (Б) и лекарственной терапии (В).

## ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА В АРКТИКЕ

Гришин О.В., Воевода М.И.

*Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины,  
Новосибирск, Россия*

У пришлых северян, уроженцев территорий с климатом средних и южных широт, можно рассматривать три принципиально различные стратегии биологической адаптации к экстремальным условиям Арктики. Первая стратегия «поведенческая» или стратегия «избегания» заключается в создании искусственного климата (помещения сложной конструкции, защитные костюмы и т.п.). На этапе освоения арктической территории подобная стратегия практически невозможна.

При прямом столкновении с экстремальными условиями биологическая адаптация может проходить по варианту эффективной адаптации, при которой морфофункциональные перестройки обеспечивают сохранение органов и систем, оставаясь в рамках «стратегии сбережения». Известно также, что при увеличении длительности или силы внешнего воздействия эффективный сценарий «склонен» трансформироваться в вариант быстрого истощения. Неэффективная адаптация реализуется путем включения затратных, невосполняемых механизмов, приводит к истощению функциональных резервов. Такая «стратегия истощения» заканчивается патологией.

Коренные народы Севера, проживающие в условиях Арктики, несомненно располагают сформированной генотипической адаптацией, основанной на мутациях и многовековом естественном отборе. Помимо генотипической они, как и любые представители *Homo sapiens*, располагают способностью к фенотипической адаптации. Возможности генотипической и фенотипической адаптации позволяют им сохранять «стратегию сбережения» там, где жители регионов с умеренным климатом таких способностей не имеют.

Пришлые представители некоренных национальностей предрасположены преимущественно к «стратегии истощения» функциональных резервов, так как располагают лишь способностью к фенотипической (индивидуальной) адаптации. Такая адаптация имеет ограничения, определяемые индивидуальными особенностями организма. Конечно, «стратегия избегания», путем создания оптимальных искусственных условий проживания (условия помещения, искусственное освещение и др.) существенно снижает нагрузку на фенотипические резервы адаптации, однако освоение арктических широт всегда предполагает прямое воздействие экстремальных факторов внешней среды.

При этом хорошо известно, что в отношении адаптивных возможностей у человека в рамках «стратегии сбережения» имеет место некоторый индивидуальный порог, выше которого развиваются деструктивные процессы, что проявляется повышенной заболеваемостью и снижением активного долголетия. Подобный феномен «стратегии истощения» у пришлых северян характеризовали по-разному: дизадаптация, плата за адаптацию, незавершенная адаптация и др., однако до сих пор остаются неизвестны критерии успешной или эффективной адаптации (в рамках стратегии сбережения), которую можно было бы охарактеризовать как комплекс морфофункциональных изменений,

позволяющих сохранить здоровье и активное долголетие в климатических условиях Арктики.

Известные статистические подходы оценки здоровья по критериям заболеваемости и смертности на индивидуальном уровне не применимы. Более того, они остаются несовершенными и на популяционном уровне, так как не учитывают оттока пришлового населения, как по причинам раннего развития хронической патологии, так и по социальным причинам, включая стремление некоренных северян вернуться в условия привычного климата. Вопрос об индивидуальной оценке способности к полноценной адаптации (в рамках «стратегии сбережения») пришедших северян без ущерба здоровью остается краеугольным для арктического здравоохранения. По сути, такую оценку необходимо проводить на этапе профессионального рекрутинга до заключения трудового контракта, точнее до попадания в экстремальные условия циркумполярного климата.

Попытки оценки здоровья проводились с 70-х годов прошлого века, однако до сих пор основываются на выявлении явных патологических отклонений, регистрируемых с помощью клинических, биохимических, физиологических и антропометрических методов. Повторные исследования в рамках диспансеризации и сейчас выполняют роль «выбраковывания заболевших», по возможности, на более ранних этапах клинико-лабораторных проявлений, то есть тогда, когда адаптационные возможности организма давно исчерпаны, а патологические изменения манифестируют последнюю стадию «стратегии истощения». В результате – раннее развитие хронической патологии, высокий уровень заболеваемости, снижение активного долголетия.

Потери человеческих ресурсов по причинам неэффективной адаптации могут быть одним из основных факторов ограничения активного освоения северных широт. Снижение трудоспособности, и, как следствие, снижение производительности труда, высокие затраты на временную потерю трудоспособности, сокращение времени профессиональных компетенций из-за вынужденного возвращения в теплый климат по состоянию здоровья и т. д. – вот далеко не все факторы, лимитирующие освоение северных территорий.

Вахтовая система труда (от 10 до 30 дней с перерывами той же длительности), внедренная в 80-х годах прошлого столетия в СССР, в США и в Канаде, казалось бы, решила проблему высоких издержек освоения экстремальных климатических зон. Основная экономия здесь была связана с отсутствием жилищно-коммунальной инфраструктуры. Однако в таком режиме организм вахтовика вынужден использовать краткосрочные механизмы адаптации, энергетически высоко затратные и в целом малоэффективные по классическому сценарию «стратегии истощения». Эффективная «стратегия сбережения», основанная на отсроченных морфофункциональных адаптационных перестройках, требует от нескольких месяцев до года. У вахтовиков процесс эффективной адаптации каждый раз обрывается при возвращении в привычный климат (феномен «незавершенной адаптации»). В результате очередная вахта становится стрессом для организма с потерей функциональных резервов, ранним развитием сердечно-сосудистых заболеваний, алкоголизмом, семейными и другими психосоциальными проблемами.

Очевидно, что жители умеренных широт могут значительно различаться по потенциалу фенотипической адаптации. Не исключено, что некоторые из них имеют и генотипический потенциал, близкий к коренным северянам. Иными словами, мы до сих пор не знаем, у кого организм способен к эффективной адаптации с сохранением

функциональных резервов (стратегия сбережения), а у кого высокзатратные (энергетически и пластически) срочные реакции приведут к истощению и патологии.

Освоение человеком северных широт, особенно арктических климатических зон, требует прогностического подхода, основанного на комплексной оценке генотипического и фенотипического ресурса адаптации, с одной стороны, и общей оценки климатической нагрузки, с другой. Сопоставление возможностей организма с общей климато-временной нагрузкой с моделированием адаптационных процессов позволит, во-первых, на предварительном этапе определять толерантность к экстремальным факторам высоких широт (физические нагрузки, гипоксия, холод, сниженная солнечная инсоляция, геомагнитная аномалия, эмоциональные нагрузки), во-вторых, устанавливать характер оптимальной трудовой деятельности и, наконец, определять целесообразность работы и/или жизнедеятельности в Арктике.

На основе вышесказанного можно определить комплекс исследований по нескольким направлениям:

- 1) сравнительные генотипические исследования у коренных народов с определением внутривидовых отличий от представителей кавказоидной расы;
- 2) сравнительные фенотипические исследования (по морфофункциональным показателям в сопоставлении с нормативными показателями) у коренных и пришлых северян с целью определения характера адаптации;
- 3) определение функциональных резервов и защитных реакций при физической, холодовой и эмоциональных нагрузках;
- 4) многосуточный биомониторинг основных функциональных показателей у представителей коренных и пришлых северян для изучения физиологических реакций в реальных условиях жизнедеятельности;
- 5) на основе сравнительного анализа генотипических и фенотипических особенностей коренного и пришлого населения разработать шкалы устойчивости или способности к эффективной адаптации;
- 6) на основе накопленного массива данных («бигдата») и машинного обучения (технологии ИИ) разработать систему индивидуального контроля функциональных резервов для выявления перехода эффективной адаптации (стратегии сбережения) к неэффективной (стратегии истощения) для своевременного принятия решений, направленных на сохранения здоровья и профилактики хронических заболеваний.

## СЕЗОННЫЕ ДЕСИНХРОНОЗЫ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ У ЛЮДЕЙ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

Мошкин М.П., Мошкин Ю.М.

*Институт цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ СО РАН), Новосибирск, Россия*

Комплексное изучение биоритмов, выполненное в 19 и 20 Советских антарктических экспедициях (САЭ), позволило получить прямые доказательства значимого эффекта сезонных изменений фотопериода для циркадных ритмов человека. При этом было установлено, что, благодаря дифференцированному реагированию на фотопериод различных систем организма, во время полярного дня и полярной ночи формируется циркадный десинхроноз (рис. 1, 1). Влияние десинхронозов на работоспособность доказана практикой широтных перелетов (jet lag). Но роль сезонных рассогласований циркадных ритмов как патогенетически значимого фактора, практически не исследована. Прорывом, позволяющим вскрыть вклад сезонных десинхронозов в процессы старения и формирования болезней, может стать развиваемая нами концепция генетического шума, который возрастает в том числе и при нарушениях циркадных ритмов (рис. 1, 2). Исходя из сказанного, мы считаем, что среди факторов полярной среды, негативно влияющих на здоровье людей, заметное место должно занимать изучение сезонных изменений генетического шума на основе разработанных нами алгоритмов и поиск средств диетической и медикаментозной коррекции нарушений транскриптомной стабильности.

Выполнено при поддержке РФФ – грант № 20-14-00055.

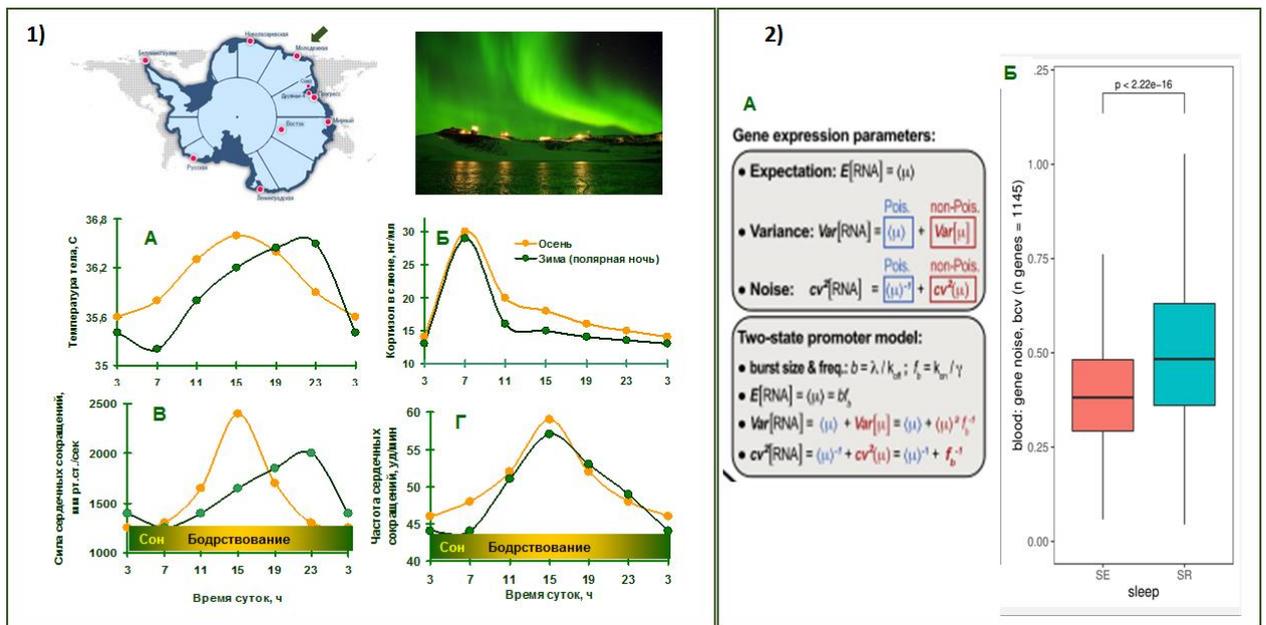


Рис. 1. Циркадный десинхроноз в полярную ночь (1) и увеличение генетического шума при десинхронозе (2).

1). Вверху: карта Антарктиды с указанием (стрелка) места проведения хронобиологических исследований в 19 и 20 САЭ; полярная ночь в Антарктиде.

Внизу: А и В – примеры циркадных ритмов физиологических процессов, реагирующих на изменения фотопериода в полярную ночь; Б и Г - примеры циркадных ритмов, устойчивых к сезонным изменениям фотопериода (Мошкин, URL: <https://bigenc.ru/biology/text/1867088>)

2). А – математические методы количественной оценки генетического (транскриптомного) шума (de Jong et al., 2019);

Б – Генетический шум при десинхронозе, вызванном ограничением сна (SR), по сравнению таковым при сне без ограничений (SE). Расчеты значений генетического шума выполнены на основе данных RNAseq, полученных при анализе образцов крови здоровых испытуемых и представленных в открытом доступе авторами статьи (Möller-Levet et al., 2013).

#### Литература

Мошкин М.П. Биологические ритмы // Большая Российская Энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/biology/text/1867088>

de Jong T., Moshkin Y.M., Guryev V. Gene expression variability: the other dimension in transcriptome analysis // *Physiol Genomics*. 2019. Vol. 51, N 5. P. 145-158. DOI: 10.1152/physiolgenomics.00128.2018

Möller-Levet C., Archer S.N., Bucca G., Laing E.E., Slak A., Kabiljo R., Lo J.C.Y., Santhi N., von Schantz M., Smith C.P., Dijk D-J. Effects of insufficient sleep on circadian rhythmicity and expression amplitude of the human blood transcriptome // *PNAS*. 2013. Vol. 110, N 12. P. E1132-E1141. DOI: 10.1073/pnas.1217154110

# ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ СВЕТОПЕРИОДИЧНОСТИ И ПИТАНИЯ В РАЗВИТИИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Пинхасов Б.Б., Сорокин М.Ю.

*Федеральный исследовательский центр  
фундаментальной и трансляционной медицины (ФИЦ ФТМ), Новосибирск, Россия*

Известно, что циркадная система человека определяет ежедневную физиологию метаболических процессов и поведение. Циркадные ритмы развивались в течение миллионов лет для организации метаболизма путем временного разделения противоположных процессов – анаболизма и катаболизма – с целью оптимизации эффективности энергетического, особенно в условиях повторяющихся циклов сон – бодрствование и сытость – голод.

Молекулярную регуляцию циркадных ритмов энергетического обмена обеспечивает совокупность генов, запускающих и поддерживающих часовой механизм организма в целом. Циркадные ритмы генерируются эндогенно в организме и сохраняются довольно долго даже в условиях отсутствия внешних временных сигналов. Однако циркадной системе все же необходимы факторы окружающей среды, такие как: свет, сон, прием пищи и физическая активность, для ее синхронизации. Появляется все больше свидетельств того, что сдвиг циркадных ритмов, вызванный неправильным сочетанием ключевых внешних факторов, таких как полярные ночь и день, сменная работа, воздействие света ночью, дневной сон, нарушение режима приема пищи, низкая и нерегулярная двигательная активность днем, приводят к нарушениям психоэмоционального состояния в виде аффективных расстройств и нарушениям метаболизма в виде ожирения, нарушений углеводного и жирового обменов. Указанные нарушения лежат в основе развития большинства хронических неинфекционных заболеваний, таких как: гипертоническая болезнь, ИБС, неалкогольная жировая болезнь печени, сахарный диабет 2 типа и др.

В этой связи представляется перспективным исследование полиморфизма генов, предопределяющих склонность к накоплению жировой ткани, формированию разных фенотипов ожирения, а также полиморфизма циркадных генов для выявления особенностей метаболического хронотипа. Эти исследования необходимы для понимания взаимосвязи экспрессии циркадных генов с суточными ритмами метаболических и гормонально-адипокиновых показателей, характеризующих энергетический обмен в целом и углеводно-жировой, в частности, у лиц с разными гено- и фенотипами ожирения. Также они потребуются для анализа эффективности воздействия факторов, влияющих на циркадный ритм организма, таких как свет, питание, двигательная активность, с целью разработки эффективных подходов к коррекции энергетического обмена посредством управления суточными ритмами трат и восстановления энергии с учетом гено-, фенотипических особенностей организма. Предлагаемый подход основан на перестройке процессов энергетического обмена через физиологические механизмы, а именно: пищевую, двигательную и психоэмоциональную адаптации, подкрепленные при необходимости медикаментозной терапией.

В качестве ключевого метода воздействия предлагается использование светотерапии, обладающей целым рядом эффектов: синхронизирующее действие, то есть возможность восстанавливать нарушенный циркадный ритм энергетического обмена; энергизирующее действие за счет повышения интенсивности энергообмена; антидепрессантное действие, особенно в условиях ограничения световой инсоляции в зимний период и/или при развитии «диетической депрессии» в условиях гипокалорийного питания. Кроме того, правильно выстроенный и подобранный режим питания, физических нагрузок и ритма «сон – бодрствование» будут потенцировать нормализацию циркадного ритма и, соответственно, усиливать эффект лечения.

# ОСОБЕННОСТИ НУКЛЕОТИДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА В ПОПУЛЯЦИЯХ НАРОДОВ АРКТИКИ

Голубенко М.В.

*Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН,  
Научно-исследовательский институт медицинской генетики, Томск, Россия*

Народы Крайнего Севера являются уникальным примером адаптации человека к экстремальному климату. Наряду с низкой температурой, одним из факторов отбора в полярных условиях может быть так называемая широтная гипоксия. Климатические условия являются важным фактором, воздействующим на здоровье людей, особенно приезжих или непостоянно проживающих на этой территории. Процесс адаптации как к холоду, так и к гипоксии связан с функцией митохондрий, которая, в свою очередь, может зависеть от изменчивости митохондриальной ДНК, кодирующей компоненты дыхательной цепи. Полиморфизм мтДНК в популяциях народов, населяющих Арктику, характеризуется меньшим разнообразием по сравнению с более южными территориями. Вместе с тем интересно отметить, что гаплогруппы мтДНК, составляющие основную часть генофонда этих народов, характеризуются определенными особенностями. Наиболее распространены в популяциях народов севера Азии гаплогруппы А, М8 (включает в себя С и Z) и D. При возникновении этих гаплогрупп в мтДНК произошли нуклеотидные замены, которые привели к изменению аминокислотной последовательности субъединиц комплекса V дыхательной цепи митохондрий (АТФ-синтазы), а также замены в генах митохондриальных рибосомных РНК (рисунок). Анализ изменчивости мтДНК в пределах этих гаплогрупп показал, что особенности полиморфизма зависят от ранее возникших замен: например, индекс эволюционной консервативности для аминокислотных замен «внутри» гаплогруппы М8 ниже, чем для других гаплогрупп мтДНК, а для гаплогруппы А – выше (см. рисунок). Можно предположить, что экспансия определенных гаплогрупп мтДНК в генофонде коренных народов Арктики связана с тем, что полиморфизм мтДНК имеет адаптивное значение: снижение эффективности работы дыхательной цепи может вести к увеличению теплопродукции, стимуляции анаэробного дыхания и уменьшению продукции активных форм кислорода. Таким образом, генетические исследования населения Арктики необходимы для понимания механизмов адаптации человека к экстремальным условиям среды и имеют важное значение для прогнозирования риска заболеваний, связанных с особенностями полярного климата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-04-01322-А.

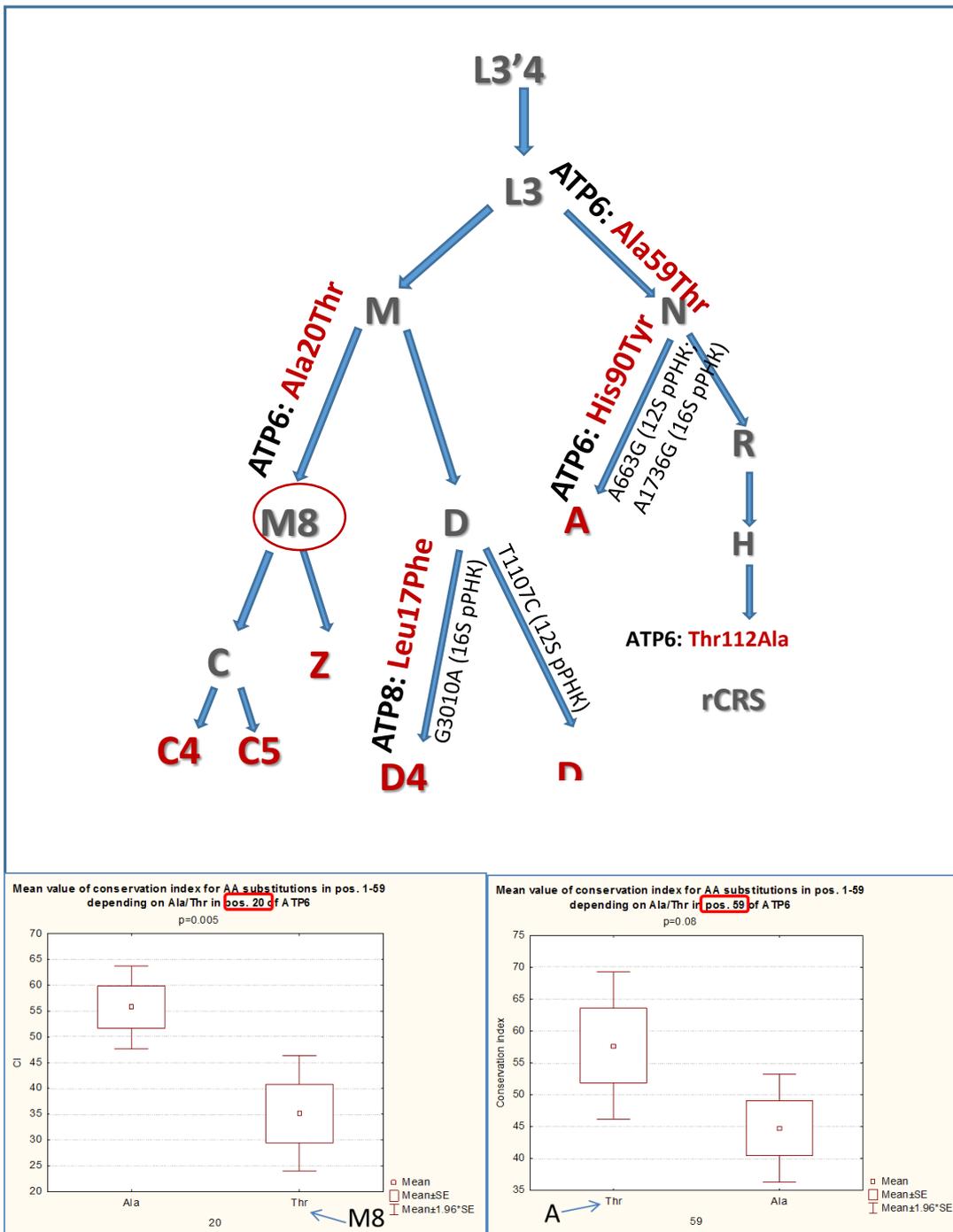


Рисунок. *Вверху:* филогенетические связи гаплогрупп мтДНК, распространенных среди народов Арктики, замены аминокислот в субъединицах АТФ-синтазы и замены в генах рибосомных РНК, характеризующие эти гаплогруппы. *Внизу:* зависимость степени консервативности аминокислотных замен от уже имеющихся замен Ala20Thr и Ala59Thr в гене МТ-АТФ6.

## ПОИСК ГЕНОВ КОМОРБИДНОСТИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Брагина Е.Ю., Пузырев В.П.

*Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Томск, Россия*

Согласно концепции синтропий/дистропий (соответственно часто/редко сочетающихся болезней) накопление случаев коморбидности в семьях свидетельствует о неслучайности сочетания болезней у индивидов и их родственников и важности генов, названных «синтропными», которые определяют их совместное развитие (Пузырев, 2015). В течение многих лет коллектив лаборатории популяционной генетики НИИ медицинской генетики ТНИМЦ занимается исследованиями, направленными на идентификацию основных закономерностей функционирования и выявления ключевых молекулярных процессов, происходящих при сочетании/несочетании различных патологических фенотипов, в частности, заболеваний сердечно-сосудистого, инфекционно-аллергического и аутоиммунного спектра.

Идентифицированы гены, которые задействованы в патогенезе бронхиальной астмы и артериальной гипертензии, а также могут способствовать коморбидности этих заболеваний. Механизмы полученных ассоциаций, вероятнее всего, обусловлены изменениями на уровне регуляции генной экспрессии, поскольку варианты, ассоциированные с коморбидным фенотипом бронхиальной астмы и артериальной гипертензии, являются *cis-eQTL* вариантами соответствующих генов в тканях – мишенях рассматриваемых болезней.

Концепция синтропий/дистропий в глобальной сети болезней и генов является оригинальным подходом исследования феномена сочетанных распространенных заболеваний человека и несет общую биологическую полезность, решая не только фундаментальные, но и задачи трансляционной геномики.

### Литература

Пузырев В.П. Генетические основы коморбидности у человека // Генетика. 2015. Т. 51, № 4. С. 491–502.  
DOI: 10.7868/S0016675815040098

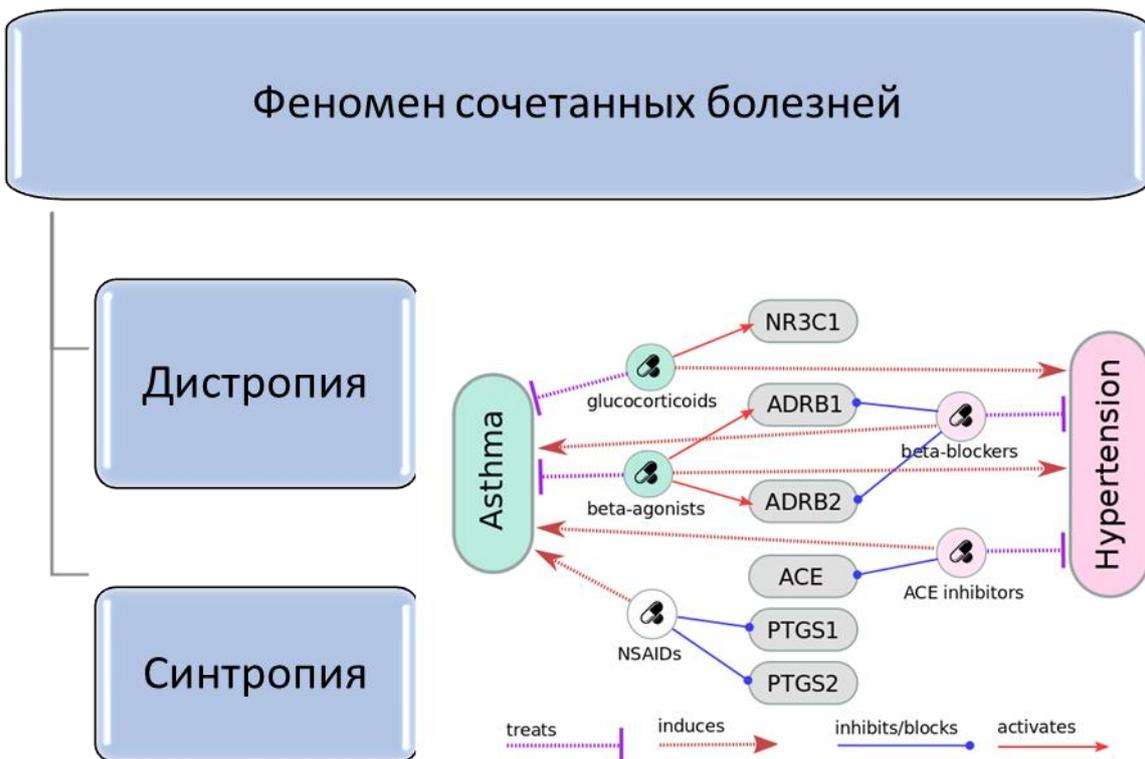


Рисунок. Пример использования концепции синтропных/дистропных болезней для идентификации генов, задействованных в патогенезе бронхиальной астмы и артериальной гипертензии.

## МУЛЬТИОМНЫЙ ПОДХОД К МНОГОФАКТОРНЫМ ЗАБОЛЕВАНИЯМ

Назаренко М.С., Пузырев В.П.

*Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН,  
Научно-исследовательский институт медицинской генетики, Томск, Россия*

В настоящее время проблема поиска «скрытой» наследуемости многофакторных заболеваний трансформируется в научную стратегию анализа структуры подверженности данным заболеваний через интегрированное «мультиомное» профилирование тканей и клеток, решение которой особенно важно для прецизионной медицины. В частности доступным объектом для исследования является атеросклеротическая бляшка, которая является патоморфологическим субстратом и причиной развития ишемической болезни сердца/инфаркта миокарда, хронического нарушения мозгового кровообращения/ишемического инсульта. В лаборатории популяционной генетики проведен комплексный анализ структурно-функциональной вариабельности генома клеток сосудов и лейкоцитов при выраженном атеросклеротическом поражении коронарных и сонных артерий у человека. В результате проведенного исследования в лейкоцитах пациентов выявлены вариации числа копий участков ДНК, связанные с факторами риска заболевания и имеющие постзиготическое происхождение (Sci Rep. DOI: 10.1038/srep41268; РКЖ DOI: 10.15829/1560-4071-2017-10-140-146); показана значимость изменения уровня метилирования ДНК в клетках артерий с их атеросклеротическим поражением, а в лейкоцитах с факторами риска и острыми сосудистыми событиями (PLoS One. DOI: 10.1371/journal.pone.0122601; РКЖ DOI: 10.15829/1560-4071-2017-10-42-48); выявлено, что вариабельность числа копий участков ДНК, изменение уровня метилирования ДНК и транскрипции в клетках артерий тесно связаны с иммуновоспалительным ответом; предположено, что метаболизм липидных капель, Wnt-сигнальный путь и трансформация фенотипа клеток в сосудах могут быть «драйверами» на поздних стадиях атеросклеротического процесса. Таким образом, для понимания природы многофакторных заболеваний требуется тщательное описание изучаемого фенотипа, получение «омных» профилей различных клеток и тканей индивида, а также интегрированный биоинформационный анализ массива данных. В результате работ, проведенных в данном направлении, будут дополнены существующие представления о молекулярных механизмах развития и течения данных заболеваний, а также идентифицированы новые патофизиологические пути и специфические мишени для профилактики, диагностики и лечения патологии.

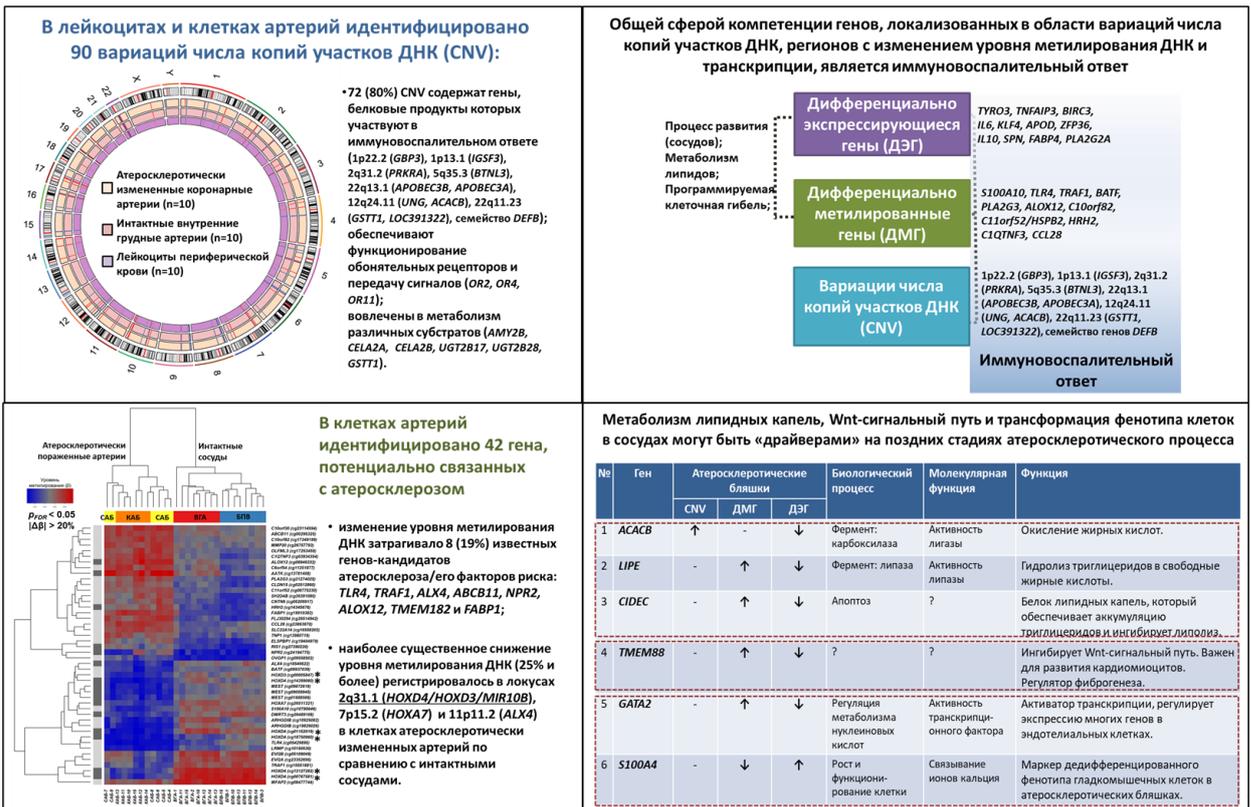


Рисунок. Слева вверху: профиль вариаций числа копий участков ДНК в клетках артерий и лейкоцитах пациентов с атеросклерозом. Слева внизу: дифференциально метилированные гены между атеросклеротически измененными и интактными сосудами. Справа вверху: функциональная аннотация генов, расположенных в области вариаций числа копий участков ДНК, дифференциально метилированных и дифференциально экспрессируемых генов в клетках артерий, пораженных атеросклерозом, и интактных сосудов. Справа внизу: гены, которые характеризуются одновременным изменением уровня экспрессии (ДЭГ) и метилирования ДНК (ДМГ), а также изменением уровня экспрессии и вариабельностью числа копий участков ДНК (CNV) в клетках артерий, пораженных атеросклерозом и интактных сосудов.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПРЕЭКЛАМПСИИ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАЗЛИЧНОГО ЭТНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

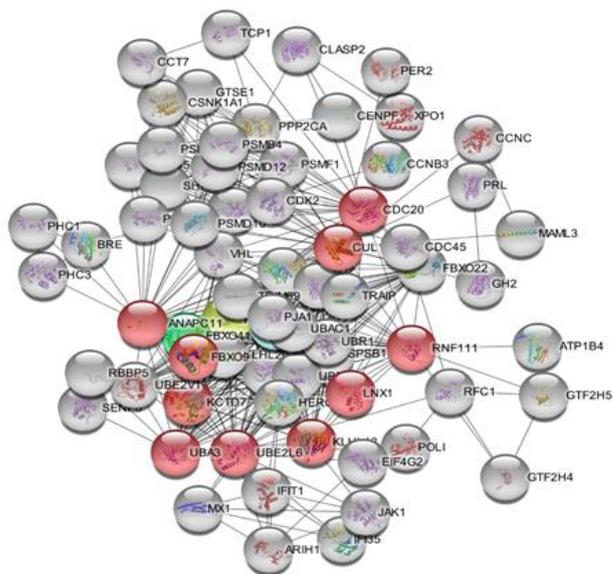
Трифопова Е.А., Бабовская А.А., Зарубин А.А., Степанов В.А.

*Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Томск, Россия*

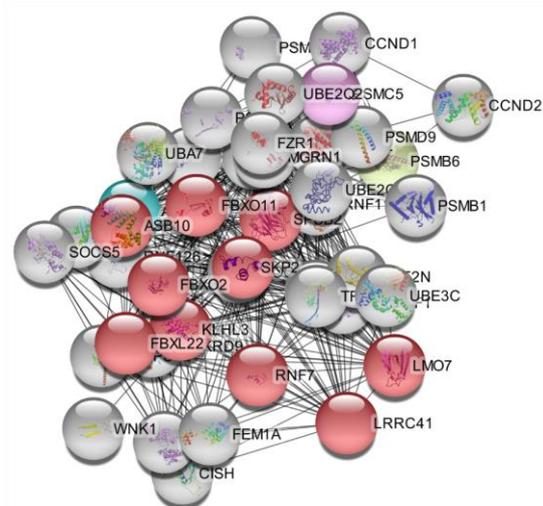
Популяционная транскриптомика – многообещающий подход для поиска локусов восприимчивости к заболеваниям, частота которых зависит от этнической принадлежности. В представленной работе мы применили данный подход к изучению генетической архитектуры преэклампсии (ПЭ) – многофакторного полиорганный заболевания беременных, являющегося основной причиной материнской и перинатальной заболеваемости и смертности в мире. Установлено, что ключевую роль в развитии этой гестационной патологии играет нарушение ремоделирования спиральных артерий плацентарной ткани, но точный молекулярный механизм ПЭ до сих пор остается неясным. В связи с чем цель нашей работы заключалась в характеристике популяционной общности и специфичности генетической архитектуры преэклампсии на уровне транскриптома плацентарной ткани как основы для идентификации новых генетических маркеров данного заболевания.

Полногеномный анализ экспрессии генов дистальной части плацентарной ткани 24 русских и 23 якутских женщин проводили с использованием микрочипов Illumina HumanHT-12 v3 Expression BeadChip. Для получения кластеров коэкспрессирующихся генов использовался подход анализа взвешенных сетей коэкспрессии генов (WGCNA). В популяции русских было обнаружено 10 кластеров, ассоциированных с ПЭ, содержащих 7968 генов, связанных по данным функциональной аннотации с передачей сигналов цитокинов. В якутской этнической группе с ПЭ было ассоциировано 9 кластеров, включающих 7966 генов, продукты которых принимают участие в регуляции лиганд-рецепторных взаимодействий и сигнальном пути PI3K-Akt. Согласно MCC-анализу CytoHubba, наиболее функционально активные гены (hubgenes) у русских (CUL1, ANAPC11, LNX1, CDC20, UBE2L6, FBXO9, KLHL13, UBA3, KCTD7, RNF111) и якутов (KLHL3, FB112PSXL, LMO7, RNF7, SKP2, FBXO2) характеризовались как популяционно-специфичные, тем не менее, согласно аннотации, все они участвуют в регуляции комплекса убиквитин-лигаза. Таким образом, в результате исследования обнаружены общие и популяционно-специфические сигнальные пути ПЭ у русских и якутов и выявлены новые перспективные биомаркеры данной патологии, которые могут рассматриваться как потенциальные терапевтические мишени. Результаты нашей работы указывают на необходимость будущих исследований генетических факторов ПЭ в однородных популяционных группах, стратифицированных по этническому признаку, что позволит улучшить этиологическую и прогностическую ценность полученных предиктивных маркеров.

Настоящее исследование финансировалось РФФИ №18-29-13045.



А.



Б.

Рисунок. Визуализация 10 hubgenes (выделены красным) для сети белок-белковых взаимодействий у русских (А) и якутов (Б).

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Николаев Ю.А., Митрофанов И.М.

*Федеральный Исследовательский Центр Фундаментальной и трансляционной медицины  
(ФИЦ ФТМ), Новосибирск, Россия*

Проведены работы по изучению состояния здоровья населения в районах строящихся горно-обогатительных предприятий Севера с выделением когорты трудящихся предприятий Якутии и проведением первичного стандартизованного скрининга здоровья по программе ВОЗ – интегрированной профилактики неинфекционных заболеваний (CINDI). В ходе первичного скрининга была изучена распространенность хронической патологии среди обследованной когорты трудящихся. Сравнение данных, полученных при медицинском обследовании трудящихся, с данными официальной медицинской статистики показывает, что среди работающих хроническая патология почти всех классов заболеваний, в 1,5-10 раз встречалась чаще. Распространенность факторов риска хронических заболеваний увеличивается с возрастом и длительностью проживания на Севере. Выполнен блок работ по углубленному анализу комплексного влияния факторов риска и выраженности ряда биологических, физиологических и социальных параметров в их взаимодействии на возникновение и течение хронической патологии. Для этого использовался метод вероятностного моделирования наличия хронических заболеваний. Дана характеристика связи состояния здоровья с экологической, социальной и экономической обстановкой. Показана необходимость комплексной оценки влияния промышленных предприятий на здоровье работающего контингента и населения в целом. Влияние предприятий на окружающую среду необходимо оценивать через настоящие или возможные изменения здоровья населения, а не только через уровни предельно допустимых концентраций промышленных факторов. Экологический мониторинг необходимо проводить параллельно с мониторингом здоровья населения, что позволит объективизировать влияние экологических факторов, в том числе и при допредельных уровнях.

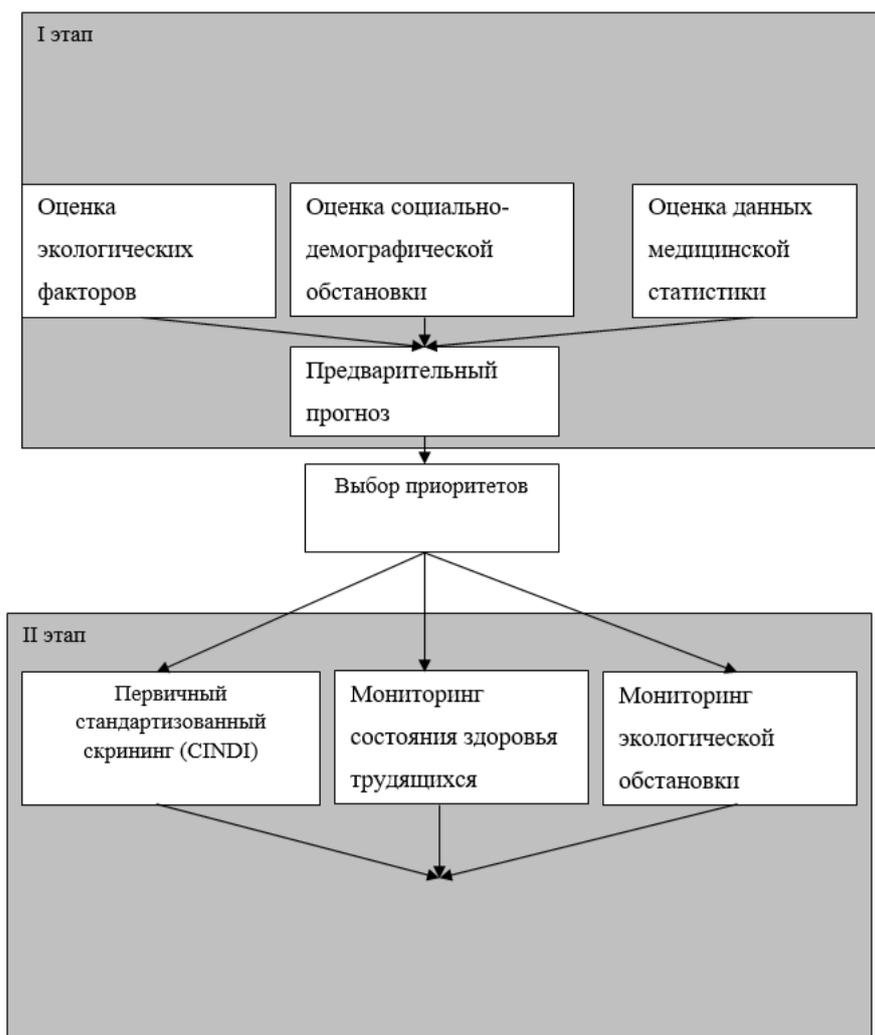


Рисунок. Схема изучения состояния здоровья трудящихся в рамках оценки воздействия на окружающую среду строящихся предприятий Севера.

## РЕЗОЛЮЦИЯ

### Конференции «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий», 21–22 декабря 2021 г., Санкт-Петербург

Конференция «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий», организованная Федеральным исследовательским центром Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) совместно с Вавиловским обществом генетиков и селекционеров (ВОГиС), прошла на площадке ВИР 21–22 декабря 2021 года.

На открытии Конференции прозвучали обращения от организаторов (ВИР и ВОГиС). Со специальным приветственным докладом выступил Председатель Научного Совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, академик РАН А.Д. Гвишиани. На двух пленарных сессиях и заседаниях по трем направлениям Конференции заслушано в общей сложности 26 докладов из ведущих вузов, агрогенетических и медикогенетических научных центров страны, системно занимающихся вопросами северных территорий (СПбГУ, ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, Томский НИМЦ, ФИЦ ВИР, ФИЦ ФТМ, ФИЦ ИЦиГ СО РАН), а также ИОГен РАН, ВНИИСХМ и др.). Направления работы включали:

1. Эффективное развитие северного земледелия: генетические ресурсы сельскохозяйственных растений и микроорганизмов, генетические технологии и междисциплинарные исследования.
2. Сельскохозяйственные животные, морские млекопитающие и промысловые рыбы в условиях Крайнего Севера: сохранение и изучение генетических ресурсов, селекция, междисциплинарные исследования.
3. Здоровье и долголетие населения северных территорий: генетические и междисциплинарные исследования (в том числе на модельных организмах).

Кроме того, в рамках Конференции состоялась специальная вечерняя лекция С.А. Зимова «Климат, большая политика и мегафауна».

К онлайн-трансляции за период конференции подключались в совокупности около 500 слушателей из научных и научно-образовательных учреждений следующих регионов Российской Федерации: Мурманская Область, Архангельская область, Республика Саха, Республика Тыва, Республика Коми, Красноярский край, Гомская область, Новосибирская область и др.

На всех сессиях значительное внимание было уделено сообщению о результатах современных генетических, геномных и омиксных исследований с использованием ценных генетических ресурсов растений, животных и микроорганизмов, а также биоматериалов человека, и возможности практического применения этих результатов. Обсуждалась ценность генетических ресурсов, мобилизованных в биоресурсные *ex situ* коллекции из регионов, отличающихся экстремальными природно-климатическими условиями, и значимость развития таких коллекций, их пополнения и эффективного использования в генетических и междисциплинарных исследованиях для создания комплекса инструментов и разработок, способствующих социально-экономическому развитию и обеспечению безопасности в Арктике, решению вопросов здоровьесбережения, повышения качества жизни населения и частичного самообеспечения продовольствием северных территорий Российской Федерации.

Отмечалось, что развитие данного направления имеет важное значение для реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации с учетом Указов Президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» (№ 645 от 26.10.2020), «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» (№ 164 от 05.03.2020), постановления Правительства Российской Федерации Государственная программа РФ

«Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (№ 484 от 30.03.2021).

Отмечена первоочередная значимость консолидации не только генетиков, ресурсоведов и биотехнологов, но и специалистов из смежных разделов биологии, а также из других наук, для обмена опытом, объединения усилий и выработки междисциплинарных подходов, которые повысят востребованность биоресурсных коллекций и вклад технологических решений следующего поколения в развитие северных территорий Российской Федерации.

#### КОНФЕРЕНЦИЯ СЧИТАЕТ ЗНАЧИМЫМИ И ВАЖНЫМИ СЛЕДУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. Конференция с благодарностью отмечает внимание на государственном уровне к тематике генетических технологий, сохранению и развитию биоресурсных коллекций и к исследованиям и практическим работам по устойчивому освоению северных территорий Российской Федерации.
2. Участники Конференции всецело поддерживают инициативы по развитию исследовательской инфраструктуры в Российской Арктике, включая планы по созданию международной арктической станции «Снежинка» и новой плавучей станции на базе ледокола «Капитан Драницын», и отмечают целесообразность планирования биологических экспериментов на означенных объектах на основе консолидации планов ведущих НИИ и вузов в соответствующих областях, в том числе под эгидой ВОГиС.
3. Конференция отмечает первоочередное значение поддержки и развития комплексных программ по изучению:
  - 3.1. почв северных территорий, включая создание сети исследовательских станций в СФО и ДВФО, арктических урбаноземов, влияния антропогенных нагрузок (включая пожары) на накопление и трансляцию по пищевой цепи токсических соединений;
  - 3.2. биоактивных соединений в представителях арктической флоры, микобиоты и фауны с применением современных методов качественной и количественной оценки;
  - 3.3. совокупности подходов, направленных на восстановление пастбищных экосистем взамен северных болот и гибнущих лесов для снижения температуры почв криолитозоны в зимний период, замедления таяния мерзлоты, снижения объемов выброса метана, восстановления стабильности климата.
4. Конференция призывает к активной поддержке:
  - 4.1. системных междисциплинарных исследований генетических ресурсов северных территорий Российской Федерации, в том числе, создания консорциумов исследовательских и образовательных учреждений по приоритетным научно-исследовательским программам и программам развития;
  - 4.2. исследований и разработок в области генетических ресурсов северных территорий с сетевым механизмом использования уже созданной исследовательской инфраструктуры;
  - 4.3. проектов научного волонтерства, с привлечением к сбору и обработке первичных научных данных в сфере генетических ресурсов северных территорий силами заинтересованных представителей гражданского общества (и, в первую очередь, старшеклассниками и студентами).
5. Участники Конференции считают важным межведомственное взаимодействие по организации сохранения и восстановления генетического разнообразия культурных растений и их диких родичей, сельскохозяйственных животных, объектов аквакультуры, разнообразия почвенных

микроорганизмов, в том числе, *in situ* на территориях ООПТ и *ex situ* в генетических банках, включая:

- 5.1. разработку/корректировку совокупности нормативных актов, определяющих работу ООПТ и усиление, материального и кадрового обеспечения ООПТ на севере страны для проведения исследовательских работ, сохранения и восстановления генетического разнообразия живых организмов на данных территориях;
- 5.2. менеджмент генетических банков, повышение уровня управления генетическими ресурсами для более надежного сбережения и рационального использования биоресурсов Севера.

В этом аспекте конференция обращает отдельное внимание на необходимость разработки и реализации программ по восстановлению и увеличению численности северного оленя (как домашних, так и диких популяций) по всему ареалу распространения, включая восстановление исходной генетической структуры, нарушенной в течение конца 1990-х – начале 2000-х годов.

6. Участники конференции отмечают необходимость дальнейшего развития всего спектра исследований в области медицинской генетики человека в Арктике, в том числе по таким направлениям, как:
  - 6.1. выявление чувствительности к внешним факторам у жителей Крайнего Севера, включая экстремальные температурные условия, различия в светопериодичности, увеличение влияния загрязнителей окружающей среды, а также изучение фенотипических стратегий адаптации человека к условиям Арктики на основе генотипических различий;
  - 6.2. исследование генетических характеристик населения северных территорий с использованием геномных и постгеномных технологий с целью выявления молекулярных маркеров и механизмов адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды;
  - 6.3. расширение фармакогенетических и фармакокинетических исследований коренного и пришлого населения Арктики, проработка фундаментальных проблем арктической медицины (вопросов старения, фиброза, гипоксии, бронхиальной астмы, заболеваний сердечно-сосудистой системы, различных многофакторных заболеваний) для решения задач территориального здоровьесбережения и развития перспективных подходов персонализированной медицины;
  - 6.4. осуществление диетологических исследований и поиск/создание оптимальных источников растительного и животного происхождения для обеспечения потребностей в сбалансированном питании различных групп населения Крайнего Севера.
7. Конференция подчеркивает, что помимо значимых фундаментальных научных результатов, перечисленные выше направления исследований имеют ярко выраженные:
  - 7.1. практическую направленность, так как являются основой разработки новых практических достижений:
    - технологий и селекционных достижений в северном земледелии и животноводстве для частичного самообеспечения северных территорий полезными экологически чистыми продуктами,
    - практических рекомендаций в лечении и профилактике заболеваний коренного и пришлого населения Крайнего Севера;
    - превентивной диагностики индивидуальной способности к полноценной адаптации для рационального формирования контингента, приглашаемого к освоению Арктики;
  - 7.2. социальную направленность, так как нацелены на повышение качества жизни населения северных территорий;
  - 7.3. высокотехнологичную направленность, так как предусматривают использование новейших геномных и постгеномных технологий.

8. Конференция обращается к Президиуму Российской академии наук и к Министерству науки и высшего образования Российской Федерации с предложением о формировании комплексной междисциплинарной программы/подпрограммы «Генетические ресурсы и генетические технологии для развития северных территорий» в рамках научного обеспечения реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации.

КОНФЕРЕНЦИЯ ПОРУЧАЕТ ОРГАНИЗАЦИОННОМУ КОМИТЕТУ

1. Направить настоящую Резолюцию в Научный совет РАН по изучению Арктики и Антарктики, в Научный совет РАН по генетике и селекции, в профильные федеральные и региональные органы власти
2. Опубликовать настоящую Резолюцию в сети Интернет и профильных печатных изданиях.

Санкт-Петербург, 22 декабря 2021 года

научное текстовое электронное издание

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
**«ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ  
И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ»**

г. Санкт-Петербург, 21–22 декабря 2021 г.

Под общей редакцией **Елены Константиновны Хлесткиной**

**Печатается в авторской редакции**

Подписано к использованию 30.12.2021 Объем издания 5,13 МБ Комплектация издания – 1 pdf файл

---

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений им. Н.И. Вавилова (ВИР)  
Библиотечно-издательский отдел  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

ISBN 978-5-907145-80-1



9 785907 145801