

# ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

---

2020

Том 3. Выпуск 3

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

**Адрес издателя и редакции:** 630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, тел.: +7(383) 3639035, ИПА СО РАН, e-mail: [redactor@soils-journal.ru](mailto:redactor@soils-journal.ru), сайт: <https://www.soils-journal.ru>

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

##### Главный редактор

**Якименко Владимир Николаевич** - доктор биологических наук, зав.лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

##### Заместители главного редактора

**Дергачева Мария Ивановна** - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

**Соколов Денис Александрович** - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

##### Члены редколлегии

**Андроханов Владимир Алексеевич** – доктор биологических наук, ВРИО директора ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

**Абакумов Евгений Васильевич** - профессор РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет

**Бойко Василий Сергеевич** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омск, Россия)

**Будажанов Лубсан-Зонды Владимирович** – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ Бурятский НИИ сельского хозяйства (Улан-Удэ, Россия)

**Гамзиков Геннадий Павлович** – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

**Гольева Александра Амуриевна** – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Россия)

**Дюкарев Анатолий Григорьевич** – доктор географических наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия)

**Кулижский Сергей Павлович** – доктор биологических наук, профессор, проректор по социальным вопросам ФГБОУ ВО Национальный Исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

**Колесников Сергей Ильич** - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО Южный федеральный университет

**Пузанов Александр Васильевич** – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

**Рожков Вячеслав Александрович** – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН Почвенный институт им.В.В. Докучаева (Москва, Россия)

**Сиромля Татьяна Ивановна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

**Сысо Александр Иванович** – доктор биологических наук, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

**Убугунов Леонид Лазаревич** – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

**Чевычелов Александр Павлович** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией генезиса почв и радиоэкологии ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск, Россия)

**Танасиенко Анатолий Алексеевич** – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

**Шарков Иван Николаевич** – доктор биологических наук, доцент, руководитель Сибирского НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН

**Шпедт Александр Артурович** - доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ВРИО директора ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

**Якутин Михаил Владимирович** – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

## Содержание

**Гаврилов Д.А., Нечаева Т.В., Наумова Н.Б., Якименко В.Н.** e129  
От редколлегии

### **Плодородие почв и минеральное питание растений**

**Русалимова О.А., Барсуков П.А.**  
Стимуляция прорастания семян смесью натриевых солей  
моно-и дикарбоновых кислот e119

### **Физика и гидрология почв**

**Чумбаев А.С., Танасиенко А.А., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В.**  
Изменение климатических характеристик холодного периода  
гидрологического года юго-востока Западной Сибири и его влияние на  
глубину промерзания почв региона e117

### **Биология и биохимия почв**

**Naumova N.B., Savenkov O.A., Alikina T.Yu., Fotev Yu.V.**  
Characterization of the core microbiome in the rhizosphere of greenhouse  
vegetables: taxonomic diversity and putative functions e128

### **Обзоры и рецензии**

**Капустянчик С.Ю., Якименко В.Н.**  
Мискантус – перспективная сырьевая, энергетическая и  
фитомелиоративная культура (литературный обзор) e126

### **Юбилей и памятные даты**

**Соколова Н.А.**  
Почвенному музею ИПА СО РАН – 20 лет! e123



## ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Уважаемые коллеги и друзья!

Редакция журнала, стремясь удовлетворить читательский интерес, публикует на страницах нашего издания материалы самых разнообразных жанров: теоретические и экспериментальные статьи, дискуссии, обзоры, юбилеи и памятные даты... Объединяющим началом для всех размещаемых работ является наша специализация – почвоведение, агрохимия, экология. Представляемый вашему вниманию очередной номер журнала также сформирован на основе этих принципов.

Изменению климата исследователи традиционно уделяют много внимания. И почвоведы не являются исключением, связывая температурные и гидрологические режимы и необычные явления в почвах с изменениями климатических характеристик окружающей среды. Одна из статей номера посвящена изменению глубины промерзания почв в зависимости от изменения климатических характеристик холодного периода гидрологического года за последние шестьдесят лет (Чумбаев и др., 2020).

Также в рамки научного мейнстрима попадает и статья Наумовой Н.Б. с соавторами, посвященная изучению разнообразия последовательностей генов 16S рРНК и оценке функционального потенциала бактериальных ансамблей ризосферы некоторых нетрадиционных для страны овощей, выращиваемых в условиях защищенного грунта на юге Западной Сибири. Авторы выявили очень большое биоразнообразие бактериобиома ризосферы в почвосубстрате теплицы, в течение нескольких десятков лет находящейся в эксплуатации и дали подробное описание таксономического профиля бактериобиома; эти результаты представляют интерес для всех исследователей, занимающихся почвенным микробиомом в зоне взаимодействия почвы и растения.

Эффективные агротехнологии включают множество этапов, среди которых быстрое и стопроцентное проращивание семян является одним из основополагающих приемов. Различные соединения оказывают стимулирующее воздействие на скорость и эффективность проращивания семян, но особенно привлекательной является возможность, а в современных реалиях и необходимость, использования побочных продуктов различных производств с этой целью. Поэтому статья О.А. Русалимой и П.А. Барсукова, описывающая установленное ими стимулирующее влияние щелочного стока производства капролактама на проращивание семян пшеницы, представляет интерес для читателей журнала.

Растения обеспечивают основную часть продовольственного фонда человечества и сырье для разнообразных отраслей экономики. Всевозрастающая потребность перехода на ресурсосберегающие технологии при минимизации экологических рисков обуславливает поиск возобновляемых источников сырья и энергии, получение и использование которых уменьшало бы негативное воздействие на окружающую среду. Одним из перспективных путей в этом направлении является возделывание и использование энергетических культур, характерному представителю которых – мискантусу – посвящен опубликованный обзор. Читатель познакомится с биологией культуры, ее воздействием на почву агроценоза, получаемой растительной продукцией и способами ее использования.

Без музеев сложно представить развитие общества в целом и науки в частности. Музеи, длительное время накапливающие объекты изучения, являются бесценным источником целевой, выверенной, структурированной, поданной в доступной форме информации и, что немаловажно, первично предметной, и лишь вторично виртуальной. Статья Н.А. Соколовой посвящена 20-летнему юбилею почвенного музея Института почвоведения и агрохимии СО РАН, играющего важную роль в осуществлении связи между академической наукой и образованием.

Дорогие читатели! Редакция надеется, что знакомство с очередным номером журнала «Почвы и окружающая среда» будет для вас интересным и полезным. Рассчитываем, что многие из вас сами захотят стать авторами журнальных публикаций, и представят свои работы – хорошие и разные. Всегда будем рады нашему разноплановому сотрудничеству.

*Редакция журнала*

Д.А. Гаврилов, Н.Б. Наумова, Т.В. Нечаева, В.Н. Якименко



## СТИМУЛЯЦИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН СМЕСЬЮ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ МОНО- И ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

© 2020 О.А. Русалимова , П.А. Барсуков 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2  
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru), [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

**Цель исследования:** изучить возможность использования смеси натриевых солей моно- и дикарбонových кислот в качестве стимулятора роста растений при предпосевной обработке семян яровой пшеницы.

**Место и время проведения.** Западная Сибирь, 2016 г.

**Методология.** Оценка эффективности воздействия щелочного стока производства капролактама (ЩСПК) на прорастание семян яровой пшеницы в серии двух инкубационных опытов в течение 3 и 8 дней и лабораторного опыта (на свету) в течение 11 дней при предпосевной обработке семян различными дозами ЩСПК в диапазоне от 0 до 90 л/т семян.

**Основные результаты.** В серии опытов установлено, что ЩСПК, представляющий из себя смесь натриевых солей карбонových кислот, может быть использован в качестве стимулятора роста растений для предпосевной обработки семян яровой пшеницы. Принципиальное значение имеет доза ЩСПК, предельной величиной которой следует считать 30 л/т семян. Наиболее выраженное положительное воздействие стимулятора роста получено при дозе 20 л/т. Такая доза ЩСПК способствовала увеличению массы зародышевых корней и листьев соответственно на 35 и 30% по сравнению с контролем при проращивании семян на свету в течение 11 суток. Всхожесть семян и доля проростков с листьями длиной  $\geq 3$  см были также максимальными при этой дозе ЩСПК.

**Заключение.** Для стимуляции прорастания яровой пшеницы рекомендуется использование ЩСПК при предпосевной обработке семян в дозе 20 л/т.

**Ключевые слова:** стимулятор роста растений; натриевые соли карбонových кислот; щелочной сток производства капролактама; прорастание семян; проростки, яровая пшеница

**Цитирование:** Русалимова О.А., Барсуков П.А. Стимуляция прорастания семян смесью натриевых солей моно-и дикарбонových кислот // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. e119. doi: 10.31251/pos.v3i3.119

### ВВЕДЕНИЕ

Подготовка семян к посеву является не только важным элементом технологии возделывания зерновых, но и одним из наиболее целесообразных и экономически выгодных мероприятий по повышению урожайности. Существует множество рекомендаций для предпосевной подготовки семян и методов стимуляции их прорастания, различающихся способами воздействия: температура (как нагревание, так и охлаждение), влажность (циклы замачивания и высушивания), электрофизические воздействия, обработки лазерным лучом, магнитным полем, ультрафиолетовыми лучами, разнообразными химическими препаратами неорганической и органической природы (Кукушкина, 2000; Колесова, 2003; Afzal et al., 2012; Shah et al., 2017; Шоба и др., 2019; Mohamed et al., 2019). Что касается физических воздействий, то данные производственных испытаний свидетельствуют, что ни один из апробированных физических методов не оправдал себя и не нашел широкого применения в практике (Кукушкина, 2000). В настоящее время более перспективным приемом повышения всхожести семян считается применение стимуляторов (регуляторов) роста растений – органических соединений, вызывающих усиление роста и развития растений, которые могут быть как природного происхождения (фитогормоны), так и искусственно синтезированными. Однако далеко не все стимуляторы обеспечивают стабильный эффект в интенсификации стартовых реакций во время прорастания семян (Любарская, 1983; Кукушкина, 2000; Стороженко, 2001; Колмыкова, 2002). Обзор экспериментальных данных различных авторов показал, что в большинстве опытов отмечается положительное влияние на энергию прорастания и всхожесть веществ с щелочными свойствами (Кукушкина, 2000).

В 1997 году В.В. Кузнецовой с соавторами была предложена возможность использования щелочного стока производства капролактама (ЩСПК) в качестве регулятора роста растений

(Кузнецова и др., 1997). ЩСПК является отходом производства капролактама и представляет собой водный раствор натриевых солей побочных продуктов воздушного окисления циклогексана. Содержание в ЩСПК натриевых солей дикарбоновых кислот (янтарной, глутаровой, адипиновой) составляет 7–12%, а натриевых солей монокарбоновых кислот – 6–20%. По утверждению авторов (Кузнецова и др., 1997), дикарбоновые кислоты в составе смеси натриевых солей карбоновых кислот увеличивают подвижность элементов минерального питания удобрений, облегчают поступление их в растения из почвы, а также способствуют повышению энергии прорастания семян и физиологической активности растений, что в результате приводит к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, улучшению их качества, устойчивости к заболеваниям (Кузнецова и др., 1997). Однако других публикаций о воздействии ЩСПК на рост и развитие растений в научной литературе нами не обнаружено. Учитывая, что большинство стимуляторов роста имеют довольно высокую стоимость, существенно сдерживающую их применение, а ЩСПК является отходом производства капролактама и, следовательно, должен иметь низкую цену, исследование применения ЩСПК в качестве стимулятора роста растений представляет практический интерес.

Цель исследования: изучить возможность использования смеси натриевых солей моно- и дикарбоновых кислот в качестве стимулятора роста растений при предпосевной обработке семян яровой пшеницы.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные работы включали проведение трех лабораторных опытов с проращиваемыми семенами яровой пшеницы сорта Новосибирская 31. В соответствии с ГОСТ 12038-84 (2011), семена пшеницы были предварительно прогреты в сушильном шкафу в течение 5 суток при температуре 40 °С для снятия состояния покоя. Экспозиция семян натриевыми солями дикарбоновых кислот во всех опытах проводилась в течение 6 часов.

Лабораторный опыт по определению энергии прорастания (опыт А) проводили в чашках Петри (в каждую чашку помещали по 20 семян) в термостате в темноте при температуре 20±2 °С и поддержании постоянной влажности. Период инкубации составил 3 суток, что соответствует определению энергии прорастания семян яровой пшеницы (ГОСТ 12038-84, 2011). Для предпосевной обработки семян в опыте было выбрано пять доз ЩСПК: 1, 3, 10, 30 и 90 л на 1 т семян. Обработку семян раствором ЩСПК проводили в стеклянных бюксах, замачивая и перемешивая 20 семян с 0,25 мл водного раствора ЩСПК различных концентраций, соответствующих вышеприведенным дозам. Повторность опыта (т.е. количество чашек Петри с семенами, обработанными одинаковой дозой ЩСПК) – 5-кратная. Через трое суток инкубации подсчитывали количество проросших семян, количество зародышевых корней, их максимальную длину и длину coleoptily (ростка).

Лабораторный опыт по определению всхожести семян (опыт В) отличался от опыта А условиями проведения: для предпосевной обработки семян здесь применяли следующие дозы ЩСПК: 0 (контроль); 2,5; 5; 10 и 20 л на 1 т семян, а период инкубации составил 8 суток, что практически соответствовало стандартному определению всхожести семян яровой пшеницы. Через 8 суток инкубации подсчитывали количество всех проросших семян, количество и максимальную длину зародышевых корней, длину ростка, а также определяли сырую массу корней и ростков (отдельно) на аналитических весах.

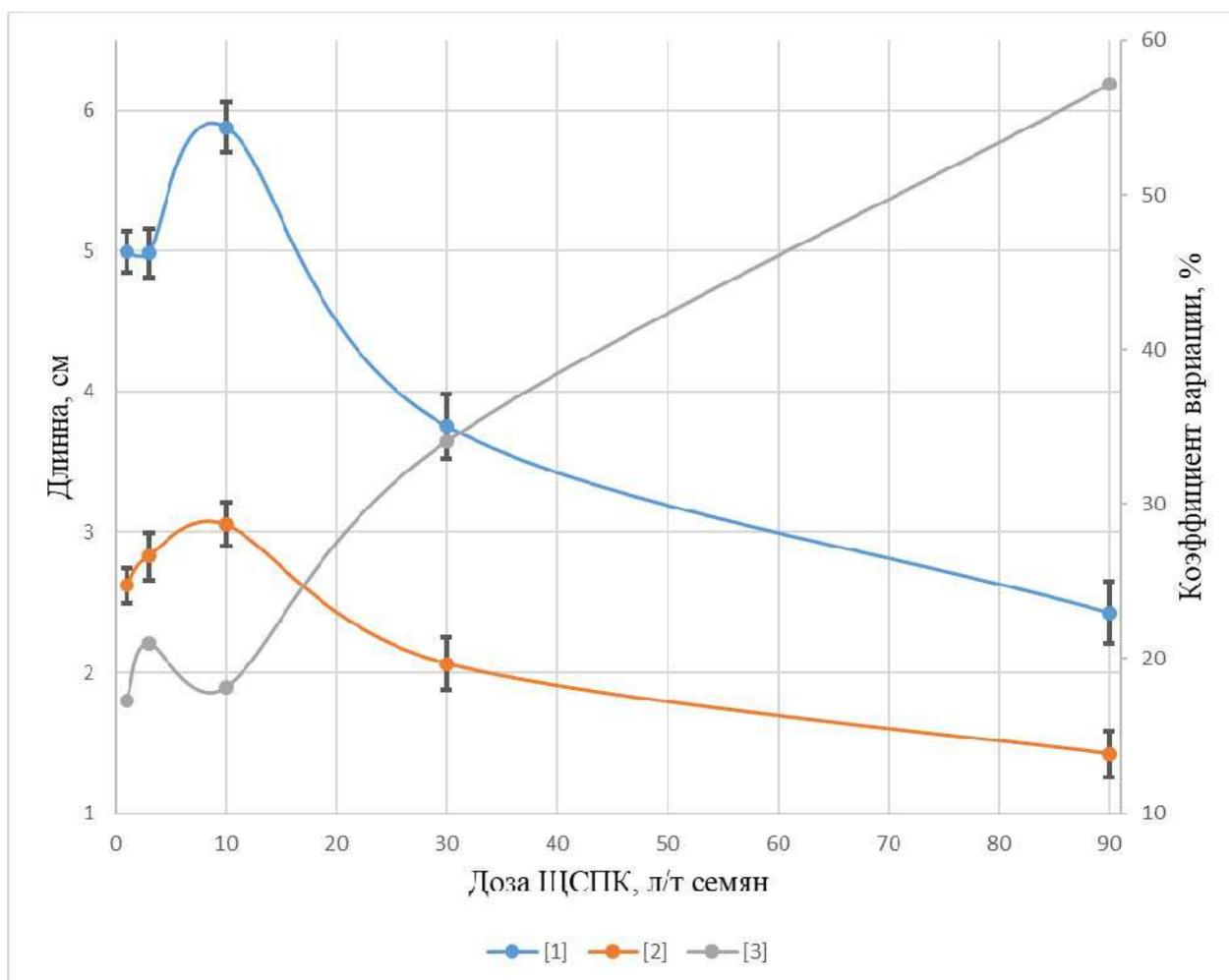
Третий лабораторный опыт (опыт С) проводили на свету, проращивая семена в рулонах из фильтровальной бумаги, помещенных в кристаллизаторы с дистиллированной водой, на свету при температуре от 13 до 20 °С в течение 11 суток. Дозы ЩСПК для обработки семян были следующие: 0 (контроль); 2,5; 10; 20 и 50 л на 1 т семян. Каждый рулон содержал 20 семян пшеницы. Повторность опыта (т.е. количество рулонов с семенами, обработанными одинаковой дозой ЩСПК) – 5-кратная. Через 11 суток проращивания семян подсчитывали количество всех проросших семян (включая семена с зародышевыми корнями, но без первичных листочков), количество проросших семян (т.е. с листочками), количество проросших семян с листочками, максимальная длина которых была равна или превышала 3 см, количество зародышевых корней, максимальную длину корней (на одно растение), максимальную длину ростков / листочков (на одно растение), а также определяли на аналитических весах сырую массу корней проросших семян (т.е. семян с листочками), сырую массу корней у семян с листочками длиной ≥ 3 см, сырую массу всех листочков и сырую массу листочков, длина которых ≥ 3 см.

Статистическая обработка данных (вариационный и дисперсионный анализ) выполнена с помощью пакета программ SNEDECOR V5.6 (Сорокин, 2004). Дисперсионный анализ (стандартный анализ по Фишеру) выполнен при полной рандомизации, анализ различия средних – по критерию Стьюдента. Результаты дисперсионного анализа (приводимые в таблицах), представлены в виде латинских букв, следующих за числом – средним значением того или иного показателя. В случае, если за значениями следуют одинаковые буквы, то эти значения достоверно не различаются, а если разные буквы, то различия между значениями превышают наименьшую существенную разницу при уровне значимости 0.05 (доверительной вероятности 95%). Вариационный анализ включал определение стандартной ошибки средней арифметической (или ошибки репрезентативности) и коэффициента вариации.

Первые данные по перечисленным выше опытам были опубликованы в материалах конференции (Русалимова и др., 2017). В настоящей статье эти результаты представлены в переработанном и расширенном виде.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведение лабораторного опыта А, длившегося 3 суток, позволило установить, что энергия прорастания семян яровой пшеницы составила 100% при предпосевной обработке семян ЦСПК в дозах от 1 до 30 л/т семян и 90% – при дозе 90 л/т. Дозы 1–3 л/т семян оказали одинаковое воздействие на длину зародышевых корней и ростков (рис. 1).



**Рисунок 1.** Влияние доз ЦСПК на длину зародышевых корней (см) [1] и ростков (см) [2] проросших семян яровой пшеницы и коэффициент вариации [3] этих показателей (среднее для корней и ростков) через 3 суток инкубации, лабораторный опыт А.

Максимальная длина как зародышевых корней, так и coleoptily получена при дозе ЦСПК 10 л/т семян. При этой дозе длина корней была достоверно больше – на 18%, а ростков – на 24% по сравнению с дозой 1 л/т. Повышение дозы до 30 л/т и далее до 90 л/т вызывало достоверное

снижении длины как корней (на 63%), так и ростков (на 47%) по сравнению с дозой 10 л/т зерна. С увеличением дозы ЩСПК существенно возрастал коэффициент вариации наблюдаемых показателей, который для доз в диапазоне 1–10 л/т был в среднем равен 17–21%, для дозы 30 л/т – 34%, а для дозы 90 л/т – 57% (рис. 1), что свидетельствует об увеличении уровня неопределенности действия повышенных доз ЩСПК на прорастание семян.

В лабораторном опыте В (8 суток инкубации) получено, что предпосевная обработка семян ЩСПК в диапазоне доз от 0 до 20 л/т семян яровой пшеницы не влияет на их всхожесть, составляющую 96–98%. Аналогичные выводы об отсутствии достоверного влияния ЩСПК были получены и для всех других показателей – для количества зародышевых корней, их длины, длины ростков, сырой массы корней и ростков (табл. 1). Следует отметить, что регуляторы / стимуляторы роста растений (СРР) часто оказывают несущественное и неустойчивое влияние на всхожесть растений. Так, в опытах с двумя гибридами кукурузы и восьмью разными СРР в один из годов проведения исследований влияния СРР на полевую всхожесть выявлено не было, в другой год эффект СРР на всхожесть обеспечивал повышение лишь на 3–5%, а для одного из гибридов в отдельный год было даже получено снижение полевой всхожести на 2–5% (Воскобулова и др., 2016). Тем не менее независимо от всхожести в большинстве годов проведения исследований СРР позитивно влияет на ростовые процессы, увеличивая высоту растений (Вакуленко, 2004; Сорока, 2012; Воскобулова и др., 2016).

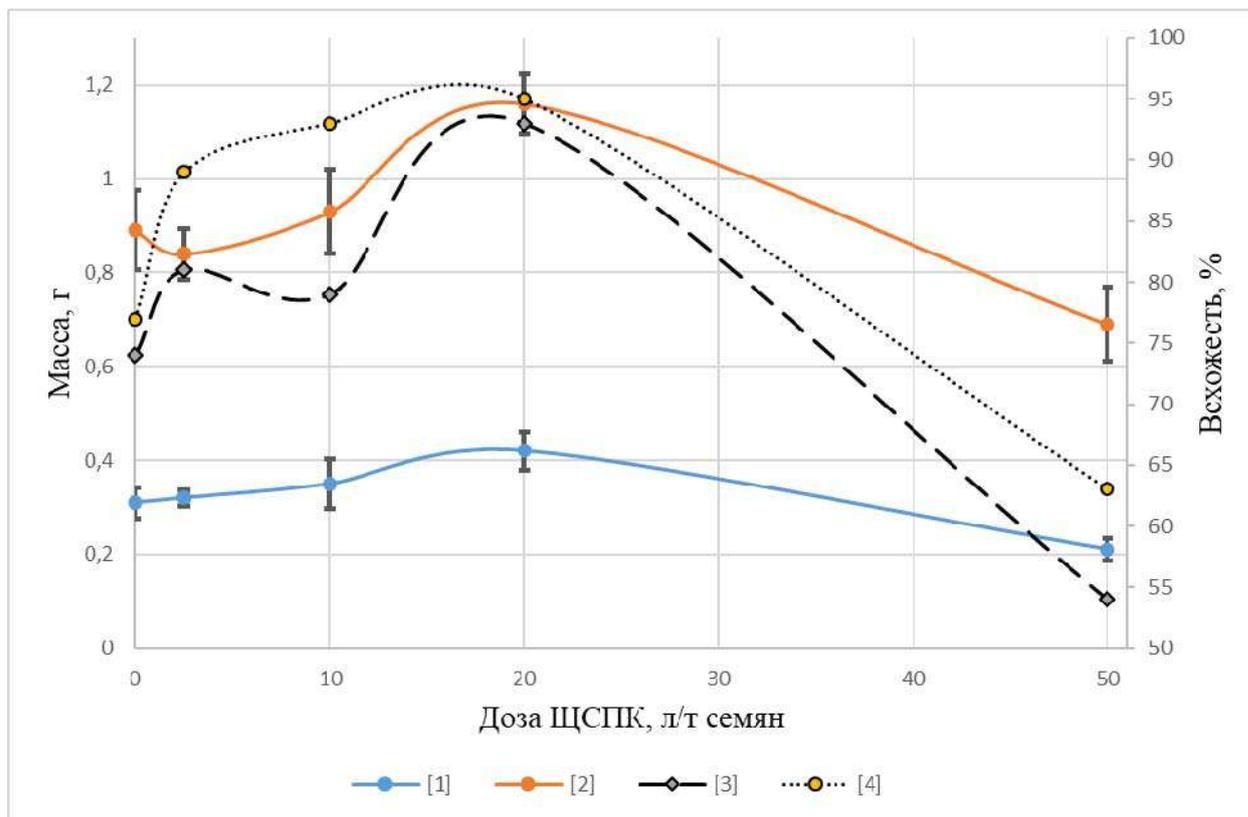
Таблица 1

Влияние доз ЩСПК на прорастание семян яровой пшеницы (8 суток инкубации), лабораторный опыт В.

Показатель		Доза ЩСПК, л/т семян				
		0	2.5	5	10	20
Всхожесть, %	Среднее	96	96	98	98	98
	V, %	4,4	2,3	4,6	2,8	2,8
Среднее количество зародышевых корней, шт./растение <sup>§</sup>	Среднее	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2
	V, %	5,9	3,5	6,5	6,4	3,8
Масса <sup>#</sup> (г) зародышевых корней проросших семян*	Среднее	0,49	0,46	0,52	0,49	0,43
	V, %	18,1	14,9	24,4	23,2	20,5
Масса <sup>#</sup> (г) ростков проросших семян*	Среднее	1,22	1,18	1,23	1,23	1,20
	V, %	8,9	8,9	11,3	6,4	9,7

Примечание. <sup>§</sup> – для проросших семян, <sup>#</sup> – сырое вещество, \* – в сумме с одной чашки Петри (т.е. 20 семян), V – коэффициент вариации.

Эффективность воздействия различных доз ЩСПК на формирование корней и листьев при прорастании семян яровой пшеницы изучена в лабораторном опыте С, условия которого были несколько более «жесткими» для прорастающих семян растений по сравнению с опытами А и В: прорастание семян происходило на свету при смене ночных и дневных температур с 13–15 °С до 18–20 °С, соответственно. В этом опыте получено, что всхожесть (учитывая все проросшие семена) была достоверно выше при дозах ЩСПК 10–20 л/т, а при учете проросших семян с листьями – при дозе 20 л/т (рис. 2). Доля проростков с листьями длиной более 3 см в среднем для доз ЩСПК от 0 до 10 л/т была равна 61% (табл. 2). Увеличение дозы ЩСПК до 20 л/т обеспечило достоверное повышение доли проростков с листьями  $\geq 3$  см до 74%, а дальнейшее повышение дозы до 50 л/т привело к очень значительному снижению этого показателя – до 39%.



**Рисунок 2.** Влияние доз ЩСПК на массу зародышевых корней [1] и листьев [2] яровой пшеницы (г/20 прорастающих семян), всхожесть (%), с учётом только проростков с листьями [3] и всех проросших семян [4], через 11 суток инкубации на свету, лабораторный опыт С.

Количество образуемых при прорастании зародышевых корней слабо зависело от дозы ЩСПК и изменялось в пределах от 3,2 до 3,5 шт./проросток (табл. 2). Лишь при дозе 50 л/т семян получено хотя и небольшое, но достоверное снижение количества образуемых корней. Максимальная длина зародышевых корней и листьев яровой пшеницы после 11 суток проращивания на свету была наибольшей без внесения стимулятора роста. Все дозы ЩСПК, применяемые в опыте С, были практически одинаковы по своему влиянию на эти показатели.

**Таблица 2**

Влияние доз ЩСПК на прорастание семян яровой пшеницы на свету в течение 11 суток, лабораторный опыт С.

Показатель		Доза ЩСПК, л/т семян				
		0	2,5	10	20	50
Доля проростков с листьями $\geq$ 3 см, %	среднее	57 ab	66 b	60 b	74 b	39 a
	V, %	29,5	19,6	25,7	15,4	24,7
Среднее количество зародышевых корней <sup>s</sup> , шт./ растение	среднее	3,5 b	3,4 ab	3,2 ab	3,5 b	3,0 a
	V, %	11,6	8,7	12,3	9,1	9,4
Длина зародышевых корней <sup>#</sup> (см) для всех проросших семян	среднее	13,4 c	10,6 b	10,6 b	8,6 a	10,4 b
	V, %	8,0	17,1	13,5	8,4	14,7
Длина листьев <sup>#</sup> (см) для проростков с листьями $\geq$ 3 см	среднее	15,3 b	12,9 a	13,5 ab	14,0 ab	14,6 ab
	V, %	9,1	12,9	9,6	6,6	14,7

*Примечание.* <sup>s</sup> – для проросших семян, <sup>#</sup> - максимальная длина корней/листьев для одного проростка, V – коэффициент вариации. Средние значения измеряемого параметра по вариантам с разными буквами достоверно различаются ( $P < 0,05$ ).

Влияние доз ЩСПК было более выражено относительно массы проростков яровой пшеницы. Масса как листьев, так и зародышевых корней имела тенденцию к повышению при увеличении доз

стимулятора роста от 0 до 10 л/т семян и была достоверно выше при дозе 20 л/т (рис. 2). Масса зародышевых корней и масса листьев (с одного рулона, т.е. 20 прорастающих семян) при этой дозе были выше соответственно на 35 и 30% по сравнению с контролем. Суммарная масса корней и листьев также достоверно изменялась под влиянием ЩСПК, достигая максимума при дозе 20 л/т семян. При этой же дозе стимулятора роста наблюдалась наибольшая всхожесть при учёте как всех проросших семян (всхожесть 95%), так и проростков с листьями (всхожесть 93%), а также максимальная в опыте доля проростков с листьями длиной  $\geq 3$  см (74% vs 57% на контроле). При расчете массы корней или листьев на одно проросшее семя (с листьями или только с корнями) различия между вариантами опыта снижались. Таким образом, влияние доз ЩСПК на массу корней или листьев в сумме с одного рулона (содержащего 20 прорастающих семян) в несколько большей степени проявлялось через количество взшедших семян и в несколько меньшей степени – через изменение накопления массы корней или листьев с одного растения. Увеличение дозы стимулятора роста до 50 л/т семян оказывало достоверно негативное воздействие на массу как листьев, так и корней. Считаем, что такие показатели, как масса зародышевых корней или масса листьев или их сумма (в расчете на 20 прорастающих семян) являются более информативными. Эти показатели лучше отражают физиологическое состояние растений яровой пшеницы в ювенильной стадии онтогенеза, чем длина корней или листьев с одного проростка.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение лабораторных опытов с семенами яровой пшеницы показало, что щелочной сток производства капролактама (ЩСПК), представляющий из себя смесь натриевых солей моно- и дикарбоновых кислот, может быть использован в качестве стимулятора роста растений при прорастании семян. Принципиальное значение имеет доза ЩСПК. Энергия прорастания семян (определяемая при 3 сутках инкубации) остается высокой при дозах 10-30 л/т семян, а доза 90 л/т семян однозначно оказывает ингибирующее действие на прорастание семян. Однако уже доза 30 л/т семян снижает длину зародышевых корней и coleoptilya. При инкубации семян в течение 8 суток, такие показатели, как всхожесть семян, длина корней и листьев, мало изменяются в диапазоне доз ЩСПК до 20 л /т. Проращивание семян на свету в течение 11 суток показало максимальное положительное воздействие стимулятора роста в дозе 20 л/т на массу зародышевых корней и листьев – они были выше на 35 и 30% соответственно по сравнению с контролем. Всхожесть семян и доля проростков с листьями длиной  $\geq 3$  см были также максимальными при этой дозе ЩСПК. Таким образом, для предпосевной обработки семян яровой пшеницы в качестве стимулятора роста растений можно рекомендовать использование щелочного стока производства капролактама в дозах 20 л/т семян.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность ООО «Центр передового земледелия» в лице его руководителя Рамиля Аминовича Мужбатуллина за предоставление ЩСПК для испытания в качестве стимулятора роста, а также инженеру лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН Г.А. Бугровской за помощь в проведении лабораторных опытов.

### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН в рамках программы с № госрегистрации АААА-А17-117030110078-1.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуленко В.В. Регуляторы роста // *Защита и карантин растений*. 2004. № 1. С. 24-26.
2. Воскобулова Н.И., Верецагина А.С., Неверов А.А. Влияние регуляторов роста на посевные качества семян и ростовые процессы кукурузы // *Вестник мясного скотоводства*. 2016. № 2(94). С. 108-111.
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ. 2011. 30 с.
4. Колесова Т.И. *Приемы повышения посевных качеств семян пшеницы*. Автореф. дисс. ... к.с.-х.н. Новосибирск, 2003. 20 с.
5. Колмыкова Т.С. *Влияние продолжительности обработки семян регуляторами роста на продуктивность сельскохозяйственных растений*. Дисс. ... к.с.-х.н. Саранск, 2002. 210 с.
6. Кузнецова В.В., Щербакова Л.Н., Преображенский В.А., Флакман А.М., Рустамбеков М.К., Вакуленко В.В., Поликарпов А.В., Внуков В.И. Азотное удобрение с регулятором роста растений. Патент на изобретение №: 2078066. Москва. 1997.

7. Кукушкина Е.Е. *Комплексные методы предпосевной подготовки семян ячменя и овса в условиях Нечерноземной зоны*. Дисс. ... к.с.-х.н. Тверь, 2000. 126 с.
8. Любарская Н.Г. *Влияние гибберелина и цитокинина на устойчивость семян и проростков к действию неблагоприятных факторов (повышенная температура и влажность воздуха)*. Дисс. ... к.б.н. Москва, 1983. 183 с.
9. Русалимова О.А., Башук А.Г., Барсуков П.А. *Использование натриевых солей моно- и дикарбоновых кислот в качестве регулятора роста при прорастании семян яровой пшеницы // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию выдающегося организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Романа Викторовича Ковалева. 4–8 декабря 2017 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо.. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. Ч. II. С. 282-286.*
10. Сорока Т.А. *Влияние регуляторов роста и микроэлементов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 42-44.*
11. Сорокин О.Д. *Прикладная статистика на компьютере*. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.
12. Стороженко С.В. *Влияние регуляторов роста на интенсификацию стартовых реакций семян и урожайность сахарной свеклы*. Дисс. ... к.с.-х.н. Белгород, 2001. 139 с.
13. Шоба С. А., Салимгареева О. А., Горепекин И. В., Федотов Г. Н., Степанов А. Л. *Закрепление аллелотоксинов почв гуминовыми веществами как основа стимуляции прорастания семян // Доклады академии наук. 2019. Том 487. № 3. С. 342–345. DOI: 10.31857/S0869-56524873342-345*
14. Afzal I., Mukhtar K., Qasim M., Basra S.M.A., Shahid M., Haq Z. *Magnetic stimulation of marigold seed // International Agrophysics. 2012. Vol. 26. P.335-339. DOI: 10.2478/v10247-012-0047-1*
15. Mohamed A.B., El-Banna M.F., Farouk S., Khafagy M.A. *The Role of Grain Priming and its Duration on Wheat Germination and Seedling Growth // Journal of Plant Production. 2019. Vol. 10. Issue 4. P.343-349. DOI: 10.21608/jpp.2019.36267*
16. Shah T., Khan A.Z., ur Rehman A., Akbar H., Muhammad A., Khalil S.K. *Influence of pre-sowing seed treatments on germination properties and seedling vigor of wheat // Agricultural & Veterinary Sciences. 2017. Vol.1. No.1. P. 62-70.*

Получено 24.11.2020

Одобрено 22.12.2020

Опубликовано 22.01.2021

**Сведения об авторах:**

**Русалимова Ольга Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru)

**Барсуков Павел Анатольевич** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## STIMULATION OF SEED GERMINATION WITH A MIXTURE OF SODIUM SALTS OF MONO- AND DICARBOXYLIC ACIDS

© 2020 O.A. Rusalimova , P.A. Barsukov 

*Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru), [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)*

**The aim of research:** *Study the possibility of using a mixture of sodium salts of mono- and dicarboxylic acids as a plant growth stimulant for pre-sowing treatment of spring wheat seeds.*

**Location and time of the study.** *West Siberia, 2016.*

**Methodology.** *Evaluation of the effectiveness of alkaline effluent from caprolactam production (AECF) on germination of spring wheat seeds in two incubation experiments for 3 and 8 days and a laboratory experiment (in the light) for 11 days with seed pre-sowing treatment at different doses of AECF ranging from 0 to 90 liters/ton of seed.*

**Results.** *In a series of experiments, it was found that AECF, which is a mixture of sodium salts of carboxylic acids, can be used as a plant growth stimulant for pre-sowing treatment of spring wheat seeds. The dosage of AECF is of utmost importance, the top limit of the application rate is recommended as 30 liters of AECF per*

a ton of seed. The most pronounced positive effect of the growth stimulant was displayed at the rate of 20 l/t. This AECF rate contributed to an increase in germinal root and leaf weight by 35% and 30%, respectively, compared with the control when seeds were germinated in the light for 11 days. Seed germination and the proportion of seedlings with leaves  $\geq 3$  cm in length were also maximal at this AECF application rate.

**Conclusions.** To stimulate the germination of spring wheat, it is recommended to use AECF for pre-sowing treatment at the rate of 15–20 liters per ton of seed.

**Key words:** plant growth stimulant; sodium salts of carboxylic acids; alkaline effluent from caprolactam production; seed germination; seedling growth; spring wheat

**How to cite:** Rusalimova O.A., Barsukov P.A. Stimulation of seed germination with a mixture of sodium salts of mono- and dicarboxylic acids // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(3). e119. doi: [10.31251/pos.v3i3.119](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.119) (in Russian with an English abstract).

## REFERENCES

1. Vakulenko V.V. Growth regulators, *Plant Protection and Quarantine*, 2004, No1, p. 24-26. (in Russian)
2. Voskobulova N.I., Vereshchagina A.S., Neverov A.A. Influence of growth regulators on sowing qualities of seeds and growth processes of corn, *Herald of Beef Cattle Breeding* 2016, No. 2(94). p. 108-111. (in Russian)
3. GOST 12038-84. Seeds of agricultural crops. Methods of determination of germinating capacity. Moscow: Standartinform, 2011, 30 p. (in Russian)
4. Kolesova T.I. *Methods to improve the sowing qualities of wheat seeds*, Autoref. dissertation ... D. thesis Novosibirsk, 2003, 20 p. (in Russian)
5. Kolmykova T.S. *Influence of the duration of treatment of seeds with growth regulators on the productivity of agricultural plants*. Diss. of candidate Agric. Sci. Saransk, 2002, 210 p. (in Russian)
6. Kuznetsova V.V., Shcherbakova L.N., Preobrazhensky V.A., Flaksman A.M., Rustambekov M.K., Vakulenko V.V., Polikarpov A.V., Vnukov V.I. Nitrogen fertilizer with plant growth regulator. Patent No. 2078066. Moscow. 1997. (in Russian)
7. Kukushkina E.E. *Complex methods of pre-sowing preparation of barley and oat seeds in the conditions of the Non-Black Earth zone*. Diss. Candidate of Agric. Sci. Tver, 2000. 126 p. (in Russian)
8. Lubarskaya N.G. *Influence of gibberelin and cytokinin on resistance of seeds and seedlings to unfavorable factors (elevated temperature and humidity)*. Diss. Candidate of Agric. Sci. Moscow, 1983. 183 p. (in Russian)
9. Rusalimova O.A., Baschuk A.G., Barsukov P.A. *Using sodium salts of mono- and dicarboxylic acids as a growth regulator for germination of spring wheat seeds* In book: Soil resources of Siberia: challenges of the XXI century: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, December 4-8, 2017) A.I. Syso (ed.) Tomsk: Publishing House of TGU, 2017, Part II, p. 282-286. (in Russian)
10. Soroka T.A. Effect of growth regulators and microelements on winter wheat grain yield and quality, *Proc. of the Orenburg State Agrarian University*, 2012, No. 1(33), p. 42-44. (in Russian)
11. Sorokin O.D. *Applied Statistics on the Computer*. Krasnoobsk: State Unitary Enterprise of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2004, 162 p. (in Russian)
12. Storozhenko S.V. *Influence of growth regulators on intensification of seed starting reactions and sugar beet yield*. Dissertation ... D. in Agric. Sci. Belgorod, 2001, 139 p. (in Russian)
13. Shoba S.A., Salimgareeva O.A., Gorepekin I.V. et. al. Stimulation of seed germination by humic substances: on the nature of the phenomenon, *Doklady Biological Sciences*, 2019, Vol. 487, No. 1, p. 105-107. DOI: [10.1134/S0012496619040021](https://doi.org/10.1134/S0012496619040021)
14. Afzal I., Mukhtar K., Qasim M., Basra S.M.A., Shahid M., Haq Z. Magnetic stimulation of marigold seed, *International Agrophysics*, 2012, Vol. 26, p. 335-339. DOI: [10.2478/v10247-012-0047-1](https://doi.org/10.2478/v10247-012-0047-1)
15. Mohamed A.B., El-Banna M.F., Farouk S., Khafagy M.A. The Role of Grain Priming and its Duration on Wheat Germination and Seedling Growth, *Journal of Plant Production*, 2019, Vol. 10, Issue 4, p. 343-349. DOI: [10.21608/jpp.2019.36267](https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36267)
16. Shah T., Khan A.Z., ur Rehman A., Akbar H., Muhammad A., Khalil S.K. Influence of pre-sowing seed treatments on germination properties and seedling vigor of wheat, *Research in: Agricultural & Veterinary Sciences*, 2017, Vol.1, No.1, p. 62-70.

Received 24 November 2020

Accepted 22 December 2020

Published 22 January 2021

### About the authors:

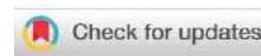
**Rusalimova Olga A.** – Junior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru)

**Barsukov Pavel A.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ГОДА ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГЛУБИНУ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВ РЕГИОНА

© 2020 А.С. Чумбаев , А.А. Танасиенко, Г.Ф. Миллер, С.В. Соловьев 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [chumbaev@issa-siberia.ru](mailto:chumbaev@issa-siberia.ru)

**Цель исследования:** определить изменения климатических характеристик в холодный период гидрологического года на юго-востоке Западной Сибири за последние 60 лет и оценить их влияние на глубину промерзания почв расчлененной территории.

**Место и время проведения.** Предсалаирье (в пределах Новосибирской области). Климатические данные за 1961-2020 гг.

**Основные результаты.** Проведен анализ метеопараметров климата на территории Новосибирского Предсалаирья в период с 1961 по 2020 года. Показаны климатические нормы по температуре воздуха и количеству осадков для двух 30-летних периодов: 1961-1990 и 1991-2020 гг. Определено влияние изменений климатических характеристик на глубину промерзания почв.

Для установления динамики современного потепления климата в холодный период на исследуемой территории были рассчитаны климатические нормы (КН) по температуре воздуха: в период с 1961 до 1990 г КН составляла минус 13,1°С, а в период с 1991 по 2020 г. данный показатель повысился до минус 11,8°С. Вычислив климатическую норму для осадков, отмечено, что за последние 30 лет (1991-2020 гг.) на исследуемой территории КН увеличилась на 32 мм по сравнению с таковой в период с 1961 по 1990 г.

Глубина промерзания почв за весь период исследований носит колебательный характер. С 1961 по 1969 гг. отмечается увеличение глубины промерзания со 150 до 197 см. С 1970 по 1973 гг. фиксировались максимальные (до 175 см) и близкие к ним значения глубины проникновения температур (от 0° С и ниже), а после 1975 и до 2020 г. выявлена тенденция на уменьшение (в среднем до 60 см) мощности промерзания почв в холодный период гидрологического года.

**Заключение.** Анализ метеорологических данных показывает, что за 60-летний период (1961-2020 гг.) на территории Новосибирского Предсалаирья отмечается стабильное повышение температуры воздуха и количества осадков в холодный период гидрологического года. При отмеченных климатических изменениях происходит уменьшение глубины промерзания почв с рекордно максимальных значений – 197 см (1968-1969 гг.) до минимальных 20 см в 2019-2020 гг.

**Ключевые слова:** изменение климата; холодный период; снегонакопление; промерзание почв; расчлененные территории; Западная Сибирь

**Цитирование:** Чумбаев А.С., Танасиенко А.А., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В. Изменение климатических характеристик холодного периода гидрологического года юго-востока Западной Сибири и его влияние на глубину промерзания почв региона // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. e117. doi: 10.31251/pos.v3i3.117

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия происходят значительные изменения климата, как в глобальном масштабе, так и в конкретных регионах Земли. В 2018 году на ассамблее ООН межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем специальном докладе особо отметила, что скорость изменений климата в последние десятилетия не имеет аналогов, по крайней мере за последние несколько столетий (IPCC, 2018). Также в этом докладе отмечается, что, по данным Всемирной метеорологической организации из 20 последних лет 18 отмечены как самые теплые с момента ведения начала учета в 1850 году. Согласно оценкам Росгидромета, на территории России потепление климата происходит примерно в 2,5 раза интенсивнее, чем в среднем по Земному шару: скорость современного роста глобальной температуры, вызванного в основном увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, составила за последние сорок лет около 0,17 °С за 10 лет. Температура на территории России растет значительно быстрее – 0,45° С за 10 лет (Доклад о климатических рисках..., 2017).

Изменения климата и вызванные этим последствия весьма неоднородны в пространстве и по сезонам; велика также межгодовая изменчивость климатических характеристик. Поэтому часто трудно однозначно оценить, насколько и в какую сторону меняются климатические показатели. Снежный покров может считаться комплексным индикатором изменений климата холодного сезона, отражающим колебания температуры, осадков, частоты оттепелей и др. (Шмакин, 2010). Тренды изменений как климата в целом, так и отдельных его составляющих, за последние десятилетия представлены в ряде работ, исследующих колебания характеристик снежного покрова во времени и пространстве (Кренке и др., 2012; Попова и др., 2015; Mankin, Diffenbaugh, 2015; Schuur et al., 2015; Титкова, Виноградова, 2017). В этих и других исследованиях отмечается, что причиной уменьшения площади снежного покрова вместе с ростом снеготаяния в целом для Северной Евразии служит увеличение средней за холодный период температуры воздуха. Наряду с повышением температуры воздуха и увеличением частоты экстремальных явлений, климатические изменения вызывают рост числа оттепелей, количества жидких осадков и их интенсивность в холодный период гидрологического года (Semenov, Bengtsson, 2002; Westermann et al., 2011). Подобные явления могут ухудшать условия выхолаживания сезонно-промерзающих почв и деградацию многолетне-мерзлых пород и находящихся на них почв. Первая реакция на оттепель – повышение температуры снежного покрова и его возможное таяние. Поскольку снежный покров представляет промежуточное звено во взаимодействии приземного атмосферного воздуха и грунта, его дальнейшее изменение во многом определяет термическое состояние поверхности почв (Шмакин и др., 2013; Сосновский, Осокин, 2019).

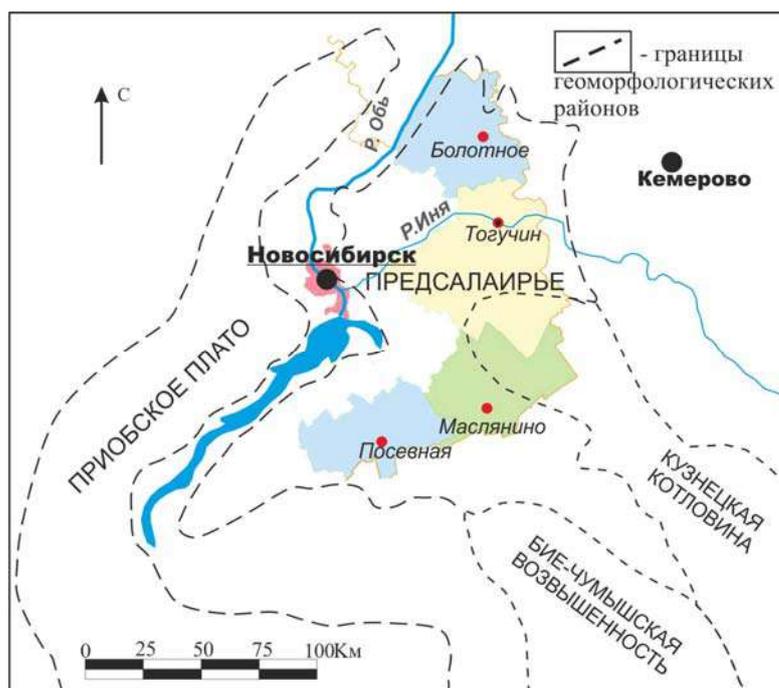
Оценка многолетних колебаний температуры воздуха, снежного покрова и почвенно-климатических характеристик важна не только для диагностики изменения климата региона, но и для решения многих практических задач, связанных с сельским хозяйством, транспортом и т.д. Снег, помимо того, что предохраняет почву от выхолаживания и резких температурных колебаний в зимнее время, служит еще и одним из основных источников влаги в почве в предпосевной и посевной периоды (Максютов, 2012). Определение снеготаяния к началу весеннего снеготаяния необходимо для прогнозов весеннего половодья, наводнений и норм весеннего стока.

Цель данной работы – определить изменения климатических характеристик в холодный период гидрологического года на юго-востоке Западной Сибири за последние 60 лет и оценить их влияние на глубину промерзания почв территорий с высокой степенью расчленения.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в пределах Преддальнейской лесостепной провинции на территории Новосибирского Преддальнея (рис. 1) с умеренно континентальным климатом и сезонно-промерзающими почвами. Это часть территории на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, расположенной в правобережной части бассейна р. Обь и граничащей на востоке с Кузнецкой котловиной и Бие-Чумышской возвышенностью, на севере она ограничена Колывань-Томской возвышенностью, а на юге – долиной р. Обь (Орлов, 1983).

Преддальнея представляет собой возвышенную плоско- и холмисто-увалистую, сильно расчлененную равнину, в общем наклоненную в сторону Западно-Сибирской равнины с абсолютными отметками высот 200-300 м. Здесь распространены антропогенно-деградационные лесостепные ландшафты, в условиях которых формируется почвенный покров с невысокой контрастностью. Основные почвы представлены полнопрофильными и в различной степени эродированными черноземами выщелоченными (Luvic Chernozems (Siltic)) и оподзоленными (Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic)), а также серыми лесными (Luvic Greyzemic Phaeozems (Siltic)) средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Учитывая большое горизонтальное (1,0-1,2 км/км<sup>2</sup>) и вертикальное (75-100 м) расчленение, относительно малое (15-25%) распространение водораздельных пространств, данную территорию следует отнести к потенциально очень сильно эрозионно опасной (Танасиенко, 2003).



**Рисунок 1.** Схема геоморфологического районирования правобережья Новосибирской области. Составлено по Орлов, 1983.

В пределах Новосибирского Предсалаирья расположены Болотнинский, Тогучинский, Маслянинский и Черепановский административные районы, поэтому для изучения климатических характеристик были взяты данные с основных метеостанций этих районов. Динамику накопления осадков, температуру воздуха и почв в течение холодного периода гидрологического года (ноябрь-март) за 1961-2020 гг. рассматривали по данным метеостанции Болотное (координаты 55,7°с.ш. и 84,4°в.д.; синоптический индекс метеостанции 29539), метеостанции Тогучин (координаты 55,2°с.ш. и 84,4°в.д.; синоптический индекс метеостанции 29636), метеостанции Маслянино (координаты 54,3°с.ш. и 83,4°в.д.; синоптический индекс метеостанции 29736) и метеостанции Посевная (координаты 54,3°с.ш. и 84,2°в.д.; синоптический индекс метеостанции 29735). Изучаемые климатические показатели с данных метеостанций были усреднены и представлены как средние данные по Новосибирскому Предсалаирью.

Исходную информацию об осадках, температуре воздуха и почвы, а также высоте снежного покрова по метеостанциям брали из климатических справочников (Климатологический справочник..., 1962; Справочник по климату..., 1977; Метеорологический ежемесячник, 1961-1990), WEB-сайта ВНИИГМИ-МЦД (Специализированные массивы для климатических исследований, 2020), сети интернет (Архив погоды, 2020) и собственных наблюдений на ключевых участках. В исследуемом регионе первые справочные данные по годовому количеству осадков имеются с 1936 года, а по температуре воздуха и глубине промерзания почв только с 1960 года. Таким образом, для повышения точности и сопоставимости исследуемых климатических характеристик был выбран период с 1961 по 2020 гг.

На основе полученных данных нами был произведен расчет климатической нормы (КН) отдельных показателей климата для изучаемой территории. Всемирной метеорологической организацией в качестве КН предложена средняя величина параметров климата за период 1961-1990 гг., как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата (Руководящие указания..., 2017). Для определения современных климатических изменений, нами был произведен расчет КН отдельных показателей для периода 1991-2020 гг.

При обработке метеорологических данных исследуемых районов мы обнаружили, что в отдельные годы отсутствуют данные, как по отдельным показателям климата, так и в целом метеоданные за весь год. Поэтому мы приняли решение, для анализа современного изменения климата, включить в общие расчеты ежегодные данные наших исследований (температуру воздуха и почв на разных глубинах, глубину промерзания и количество осадков в холодный период гидрологического года) на ключевых участках в Тогучинском районе Новосибирской области, которые ведутся нами с 2000 года. Полученные нами данные включены в общий пул данных для усреднения.

Натурные наблюдения за распределением снежного покрова и запасами воды в снеге проводили путем сплошных снегомерных съемок по параллельным маршрутам, пересекающим водосбор через каждые 100 м. Такие наблюдения ежегодно проводили в период с 25 марта по 5 апреля, в декаду максимальной мощности снежного покрова. Высоту снега определяли снегомерной рейкой через каждые 5 м, а плотность – с помощью снегомера ВС-1 – через каждые 100 м в двукратной повторности. Запас воды в снеге определяли путем перемножения средней арифметической величины плотности снежного покрова на среднюю высоту снега на том или ином элементе водосборной территории.

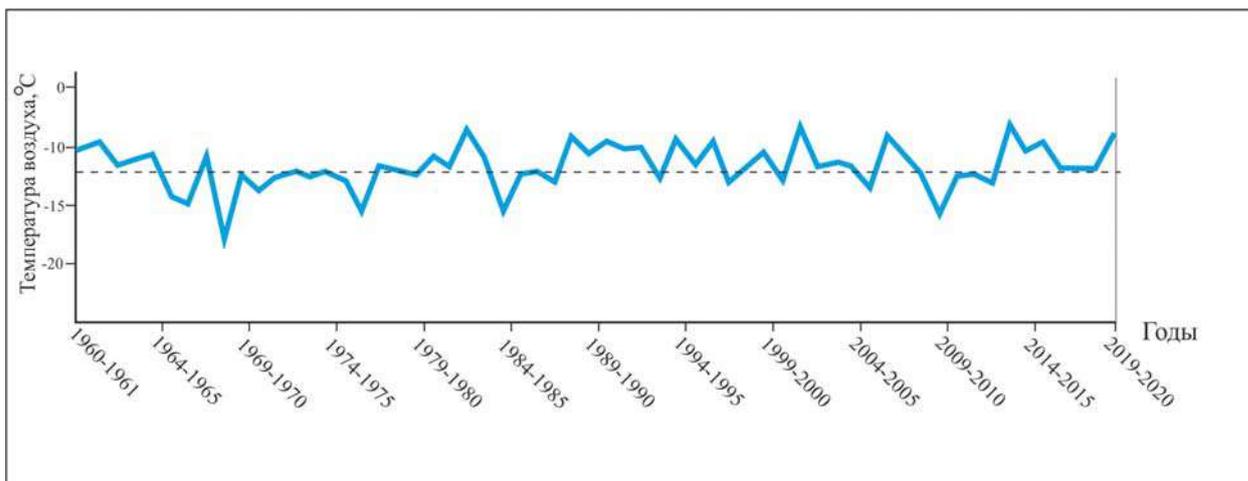
На территории Предсалаирья, среди эродированных почв, наиболее распространены слабоэродированные почвы (80 %). Поэтому для данного исследования были выбраны ключевые участки, расположенные на склонах южных ориентаций, где основными почвами являются слабосмытые черноземы выщелоченные (Luvic Chernozems (Siltic)) (55°01'43.5"с.ш. 83°50'42.3"в.д.) и оподзоленные (Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic)), и склоны тяготеющие к северной ориентации со слабосмытыми серыми лесными почвами (Luvic Greyzemic Phaeozems (Siltic)) (55°00'40.5"с.ш. 83°52'54.1"в.д.) средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Слабосмытыми сибирские почвы считаются, если в результате эрозионных процессов мощность их гумусового горизонта на 30% меньше, чем у несмытого аналога и располагаются они в верхней трети склонов, уклоном до 3°. Важно подчеркнуть, что в слабоэродированных почвах Сибири при их сельскохозяйственном использовании еще вычленяется самостоятельный гумусовый горизонт. (Танасиенко, 2013). В сельскохозяйственном отношении, поля, на которых находятся ключевые участки, с 2003 г находятся в залежном состоянии с нерегулярным кошением травостоя.

Температуру исследуемых почв вниз по профилю в течение 2001-2005 гг. фиксировали с помощью коленчатых термометров Саввинова и вытяжных термометров ТПВ-50 с октября по май на следующих глубинах: 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 см. С 2006 г. температуру почв стали дополнительно фиксировать автономными регистраторами температуры DS-1921G Thermochron. Датчики устанавливали на те же глубины, что и термометры Саввинова и вытяжные, и программировали на интервал измерения 3 ч. Температуру воздуха фиксировали датчиком DS-1921G, закрепленным на деревянном шесте на высоте 2 м над поверхностью почвы и затененным от воздействия прямых солнечных лучей с помощью картонного козырька. Динамику изменения температуры поверхности почвы фиксировали с помощью автономного регистратора, установленного непосредственно на поверхность почвы.

Начало, скорость замерзания/оттаивания почв, а также дату полного оттаивания почвенного профиля устанавливали по данным датчиков Thermochron (Chumbaev, 2016; Танасиенко и др., 2019). За глубину промерзания почв мы принимаем глубину проникновения температуры 0°C, при которой происходит замерзание свободной влаги.

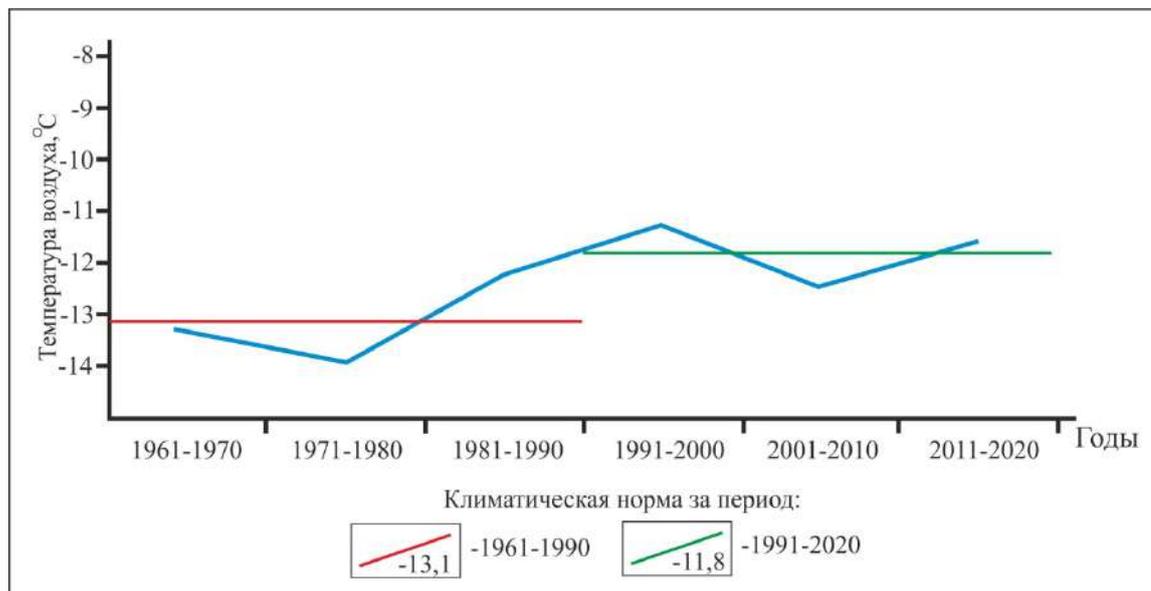
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным, динамика средней температуры воздуха за холодный период в Предсалаирье носит колебательный характер. При рассмотрении многолетней динамики температуры воздуха в период с 1961 до 1990 года зафиксировано 12 случаев, когда средняя температура воздуха за холодный период была ниже КН, в то время как в период с 1991 по 2020 г таких случаев отмечено 8 (рис. 2). Это может служить свидетельством общего повышения средней температуры воздуха в зимний период за последние 30 лет и подтверждает ранее полученные нами данные (Танасиенко и др., 2019). Для установления динамики современного потепления климата в холодный период на исследуемой территории мы рассчитали климатическую норму по температуре воздуха. Если в период с 1961 до 1990 г КН составляла минус 13,1°C, то в период с 1991 по 2020 г. данный показатель повысился до минус 11,8°C (рис. 3).



**Рисунок 2.** Динамика средней температуры воздуха за холодный период (сплошная линия) относительно климатической нормы (пунктирная линия) в Новосибирском Предсалаирье.

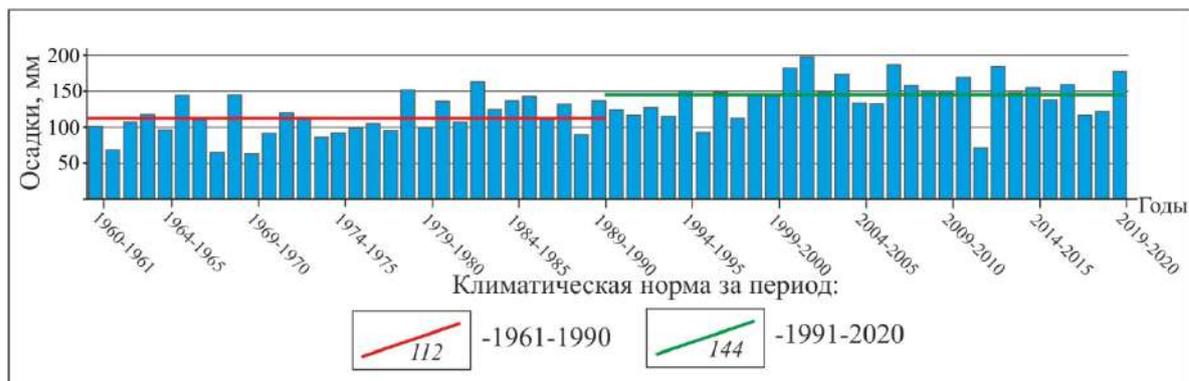
По данным Росгидромета, наименьшее потепление в среднем за год отмечается на юге Западной Сибири. Для зимы за период 1976-2016 гг. тренд в среднем по территории России положителен ( $0,32^{\circ}\text{C}/10$  лет), но статистически незначим. Рост зимней температуры прекратился в середине 1990-х гг., после чего наблюдалось ее убывание; однако после 2010 г. наметилась тенденция к росту (Доклад о климатических рисках..., 2017). В своих исследованиях мы пришли к подобному результату. Из рисунка 3 видно, что за холодный период 1991-2010 гг. происходило снижение средней температуры воздуха, а после 2011 года и по настоящее время наблюдается стабильный рост. Рассчитав среднюю по десятилетиям температуру воздуха за 1971-2020 гг. мы получили положительное значение  $0,36^{\circ}\text{C}/10$  лет с величиной достоверности аппроксимации  $R^2=0,5356$ , что также соответствует данным Росгидромета.



**Рисунок 3.** Распределение средних по десятилетиям температур воздуха за холодный период и изменение климатических норм с 1961 по 2020 гг.

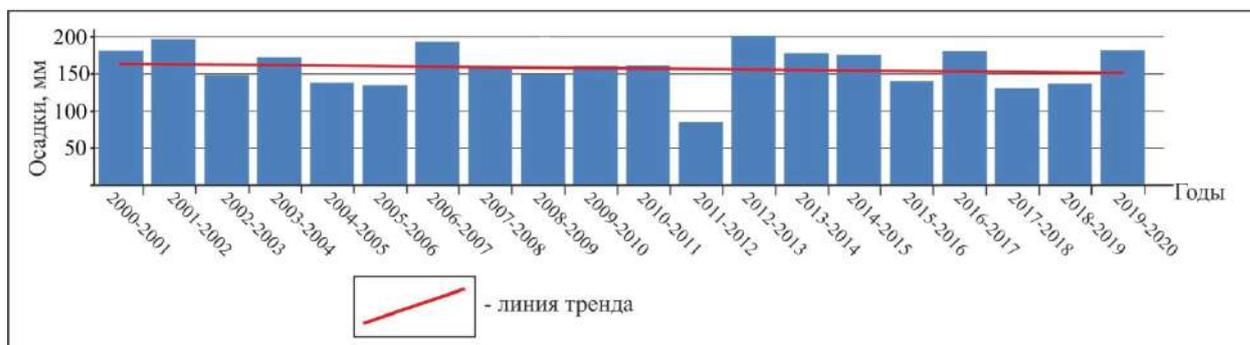
По оценкам сценарных прогнозов климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана, в XXI в. в результате общего повышения температуры воздуха и количества осадков на территории России, в целом, будет также возрастать (Мелешко и др., 2008; Максютова, 2017). Анализируя данные за холодные периоды гидрологических лет (с 1961 по 2020 гг.) мы установили, что на территории Новосибирского Предсалаирья изменение количества твердых осадков от года к году носит закономерный колебательный характер, но отмечается тенденция на их увеличение (рис. 4). Рассчитав климатическую норму для осадков (аналогично температуре

воздуха), мы определили, что за последние 30 лет (1991-2020 гг.) КН увеличилась на 32 мм по сравнению с таковой в период с 1961 по 1990 г. Это также подтверждает тот факт, что за последние 60 лет происходит стабильное увеличение количества зимних осадков.



**Рисунок 4.** Динамика накопления осадков холодного периода и изменение климатических норм с 1961 по 2020 гг.

Согласно отчету Росгидромета (Доклад о климатических рисках..., 2017), значительный рост количества осадков в начале XXI века предполагается зимой – на большей части Европейской территории России следует ожидать незначительного накопления массы снега, а в Западной и Восточной Сибири накапливаемая масса снега зимой от года к году будет только расти. Однако, проведенный нами анализ количества выпавших осадков в холодные периоды на территории Предсалаирья с 2001 по 2020 гг. показывает, что, несмотря на преимущественно высокие снегозапасы, тренд имеет направление в сторону незначительного снижения (рис. 5). Данные региональные отличия изменения климата от общемировой тенденции, вероятно, могут быть связаны с местными условиями.



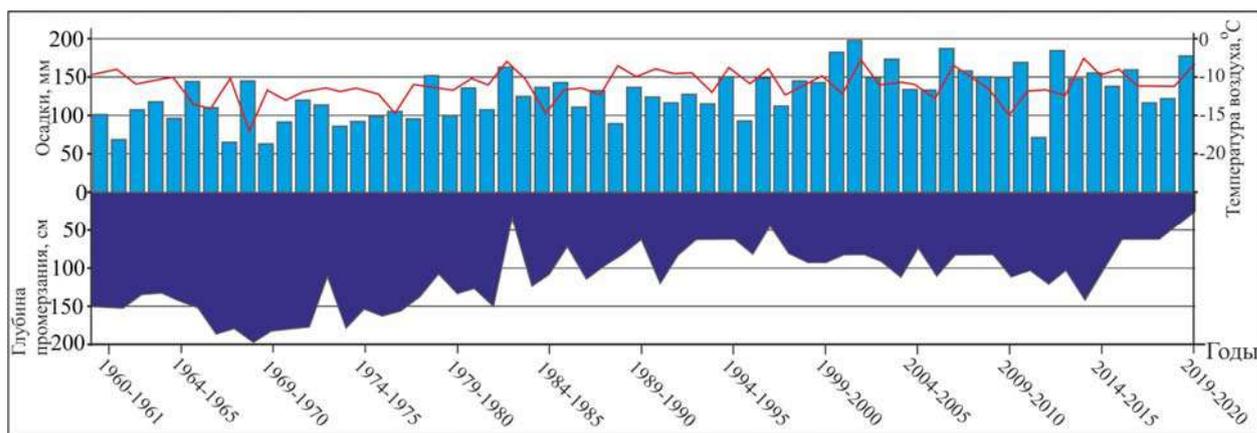
**Рисунок 5.** Динамика накопления осадков холодного периода с 2001 по 2020 гг.

В условиях современного потепления климата влияние температурного параметра и осадков холодного периода на почвы сезонного промерзания и на почвы, формирующиеся в зоне распространения многолетней мерзлоты, становится особенно заметно. В мерзлотных почвах особую проблему представляют изменения температурного режима, определяющие глубину промерзания – протаивания многолетней мерзлоты криолитозоны и обводненность протаившего слоя и, как итог – деградация многолетней мерзлоты (Худяков, Решоткин, 2020; Десяткин, Десяткин, 2019; Romanovsky, Osterkamp, 2001). В сезонно-промерзающих почвах, на фоне повышения средней температуры воздуха за холодный период гидрологического года и изменения пространственных и временных характеристик снежного покрова происходит уменьшение глубины промерзания почв.

Глубина промерзания почв – один из важных факторов, определяющий условия перезимовки сельскохозяйственных культур и принимающий активное участие в перераспределении талых вод в период снеготаяния. Данный показатель температурного режима почв зависит не только от температуры воздуха и высоты снежного покрова, но и от осеннего увлажнения почв, сроков установления снежного покрова, дат первых и устойчивых отрицательных температур воздуха, динамики выпадения твердых осадков в течение холодного периода. Усиление влияния одного или

группы факторов может существенно изменить мощность мерзлой толщи в сезонно-промерзающих почвах, как в сторону ее увеличения, так и в сторону уменьшения.

В результате анализа данных температуры почв Новосибирского Предсалаирья установлено, что за 60 летний период глубина промерзания носит колебательный характер. До 1969 года, вероятно, имела тенденция на увеличение глубины проникновения температур (от 0°C и ниже), и в холодный период 1968-1969 гг. отмечалась наибольшая глубина промерзания почв для Новосибирского Предсалаирья – 197 см. В этот холодный период гидрологического года, несмотря на высокие снегозапасы (145 мм) средняя температура воздуха составила минус 17°C, которой оказалось достаточно для такого глубокого промораживания почвенной толщи. В зимы с 1970 до 1973 г. промерзание почв оставалось близким к максимальному. С 1974 по 1996 гг. отмечается тенденция на уменьшение глубины промерзания почв со средним значением 105 см за этот период, что связано с ростом средней температуры воздуха и увеличением количества осадков за холодный период. После 1997 г. в последующие 16 лет вновь отмечается увеличение глубины промерзания, которое в 2013 году сменяется довольно резким уменьшением мощности почв с температурами от 0°C и ниже. В последние 3 года исследований, температура воздуха в холодный период незначительно превышала климатическую норму, а количество осадков было значительно меньше КН. Соответственно, эти два климатических показателя не могли быть основными факторами небольшой глубины промерзания почв в этот период. Нами было зафиксировано, что в предзимье 2017, 2018 и 2019 гг. постоянный снежный покров устанавливался довольно мощным слоем (10-15 см) на увлажненную почву (выше НВ) и на 7-12 дней раньше постоянных среднесуточных температур воздуха ниже минус 10°C. Именно это способствовало сохранению положительных температур в профиле почв в первую половину холодного периода, что привело к медленному и не глубокому проникновению температуры до 0°C.



**Рисунок 6.** Температура воздуха, количество осадков и глубина промерзания почв в холодные периоды с 1961 по 2020 гг. Новосибирского Предсалаирья

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К региональным особенностям климатических изменений в Новосибирском Предсалаирье за 60-летний период (1961-2020 гг.) относится стабильное повышение температуры воздуха и количества осадков в холодный период гидрологического года, что соответствует общемировой картине глобального изменения климата. В тоже время, отмечено незначительное снижение накопления твердых осадков в холодные периоды за последние 20 лет, что можно объяснить региональными особенностями и изменениями общей циркуляции атмосферы на исследуемой территории. Воздействие погодных условий в предзимье и зимой на глубину промерзания почв весьма значительно. На фоне общего потепления и увлажнения климата в холодный период за исследуемые годы на территории Новосибирского Предсалаирья происходит уменьшение глубины промерзания почв с максимальным значением 197 см в 1968-1969 гидрологический год и наименьшей глубиной проникновения температуры 0°C в зиму 2019-2020 гг.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архив погоды. <https://rp5.ru/> (дата обращения 24.09.2020)
2. Десяткин Р.В., Десяткин А.Р. Влияние увеличения глубины деятельного слоя почвы на изменение водного баланса в криолитозоне // *Почвоведение*. 2019. № 11. С. 1393-1402. DOI: [10.1134/S0032180X19110030](https://doi.org/10.1134/S0032180X19110030)
3. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
4. Климатологический справочник СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1962. Вып. 20. Ч. 7, 8. 395 с.
5. Кренке А.Н., Черенкова Е.А., Чернавская М.М. Устойчивость залегания снежного покрова на территории России в связи с изменением климата // *Лед и снег*. 2012. №52(1). С. 29-37. DOI: [10.15356/2076-6734-2012-1-29-37](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2012-1-29-37)
6. Максютова Е.В. Характеристика снежного покрова лесостепи Предбайкалья // *Лёд и Снег*. 2012. №52(1). С. 54-61. DOI: [10.15356/2076-6734-2012-1-54-61](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2012-1-54-61)
7. Мелешко В.П., Катцов В.М., Говоркова В.А., Спорышев П.В., Школьник И.М., Шнееров Б.Е. Климат России в XXI веке. Ч. 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 // *Метеорология и гидрология*. 2008. № 9. С. 5-21.
8. Метеорологический ежемесячник. Новосибирск. 1961-1990. Вып. 20. Ч. 2. № 1-12.
9. Орлов А.Д. Эрозия и эрозионноопасные земли Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 208 с.
10. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // *Лёд и Снег*. 2014. №54(3). С. 39-49. DOI: [10.15356/2076-6734-2014-3-39-49](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-3-39-49)
11. *Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм*. Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO). 2017. 32 с.
12. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при современных изменениях климата // *Лёд и Снег*. 2019. №59(4). С. 475-482. DOI: [10.15356/2076-6734-2019-4-433](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-433)
13. **Специализированные массивы для климатических исследований** (дата обращения 24.09.2020)
14. *Справочник по климату СССР*. Новосибирск, 1977. Ч. 2. Вып. 20. Кн. 1. 472 с.
15. Танасиенко А.А. *Специфика эрозии почвы Сибири*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
16. Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Миллер Г.Ф. Условия и интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов в лесостепи Предсалаирья // *Почвоведение*. 2013. №11. С. 1397-1408. DOI: [10.7868/S0032180X13110099](https://doi.org/10.7868/S0032180X13110099)
17. Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Филимонова Д.А. Весенний дефицит влаги в профиле эродированных черноземов в зависимости от увлажнения территории юго-востока Западной Сибири // *Почвоведение*. 2019. № 8. С. 935-945. DOI: [10.1134/S0032180X19080148](https://doi.org/10.1134/S0032180X19080148)
18. Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. по спутниковым данным // *Лёд и Снег*. 2017. №57(1). С. 25-33. DOI: [10.15356/2076-6734-2017-1-25-33](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33)
19. Худяков О.И., Решоткин О.В. Динамика температуры мерзлотных почв в вегетационный период на фоне повышения среднегодовой температуры воздуха // *Почвоведение*. 2019. №5. С. 576-589. DOI: [10.31857/S0032180X2005007X](https://doi.org/10.31857/S0032180X2005007X)
20. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // *Лед и снег*. 2010. №1 (109). С. 43-57.
21. Шмакин А.Б., Осокин Н.И., Сосновский А.В., Зазовская Э.П., Борзенкова А.В. Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене // *Лёд и Снег*. 2013. №53(4). С. 52-59. DOI: [10.15356/2076-6734-2013-4-52-59](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-4-52-59)
22. Chumbaev A.S., Tanasienko A.A. *Measuring Snowmelt in Siberia: Causes, Process, and Consequences* // Mueller L., Sheudshen A., Eulenstein F. (eds) 2016. *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*. Springer Water. Springer, Cham. P. 213-231. DOI: [10.1007/978-3-319-24409-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24409-9_7)
23. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *IPCC*, 2018. 630 p.
24. Mankin J.S., Diffenbaugh N.S. Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends // *Climate Dynamics*. 2015. 45(3). P. 1099-1116. DOI: [10.1007/s00382-014-2357-4](https://doi.org/10.1007/s00382-014-2357-4)
25. Romanovsky V.E., Osterkamp T.E. *Permafrost: changes and impacts* // Paepe R., Melnikov V.P., Van Overloop E., Gorokhov V.D. (eds) 2001. *Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources*. NATO Science Series (Series 2. Environment Security), Vol. 76. Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-010-0684-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0684-2_20)
26. Schuur E., McGuire A., Schädel C., Grosse G., Harden J.W., Hayes D.J., Hugelius G., Koven C.D., Kuhry P., Lawrence D.M., Natali S.M., Olefeldt D., Romanovsky V.E., Schaefer K., Turetsky M.R., Treat C.C., Vonk J.E. Climate change and the permafrost carbon feedback // *Nature*. 2015. №520. P. 171-179. DOI: [10.1038/nature14338](https://doi.org/10.1038/nature14338)
27. Semenov V.A., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM // *Climate Dynamics*. 2002. №19. P.123-140. DOI: [10.1007/s00382-001-0218-4](https://doi.org/10.1007/s00382-001-0218-4)

28. Westermann S., Boike J., Langer M., Schuler T.V., Eitzelmüller B. Modeling the impact of wintertime rain events on the thermal regime of permafrost // *The Cryosphere*. 2011. Vol. 5. P. 945-959. DOI: [10.5194/tc-5-945-2011](https://doi.org/10.5194/tc-5-945-2011)

Поступила в редакцию 03.11.2020

Принята 22.01.2021

Опубликована 22.01.2021

**Сведения об авторах:**

**Чумбаев Александр Сергеевич** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [chumbaev@issa-siberia.ru](mailto:chumbaev@issa-siberia.ru)

**Танасиенко Анатолий Алексеевич** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [tanasienko@issa-siberia.ru](mailto:tanasienko@issa-siberia.ru)

**Миллер Герман Федорович** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [miller@issa-siberia.ru](mailto:miller@issa-siberia.ru)

**Соловьев Сергей Викторович** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [solovyev@issa-siberia.ru](mailto:solovyev@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**CHANGE IN CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE COLD PERIOD OF THE HYDROLOGICAL YEAR IN THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA AND ITS INFLUENCE ON THE DEPTH OF FREEZING OF SOILS OF THE REGION**

© 2020 A.S. Chumbaev , A.A. Tanasienko, G.F. Miller, S.V. Solovev 

*Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation E-mail: [chumbaev@issa-siberia.ru](mailto:chumbaev@issa-siberia.ru)*

*This article is about the changes in climatic characteristics during the cold period of the hydrological year in the southeast of Western Siberia over the past 60 years and their impact on the depth of soil freezing in dissected territories. It has been established that at the regional level over the past 60 years there has been an increase in air temperature and an increase in precipitation during cold periods of hydrological years. These changes have a direct impact on the depth of freezing of soils in the dismembered territories of the southeast of Western Siberia. A stable tendency towards a decrease in the freezing depth was noted from 1968 to 2020.*

**Key words:** *changing of the climate; cold period; snow accumulation; freezing of soils; dissected territories; Western Siberia*

**How to cite:** *Chumbaev A.S., Tanasienko A.A., Miller G.F., Solovev S.V. Change in climatic characteristics of the cold period of the hydrological year in the south-east of Western Siberia // The Journal of Soils and Environment. 2020. 3(3). e117 doi: [10.31251/pos.v3i3.117](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.117) (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Reliable prognosis. <https://rp5.ru/> (Accessed 24.09.2020).
2. Desyatkin R.V., Desyatkin A.R. The Effect of Increasing Active Layer Depth on Changes in the Water Budget in the Cryolithozone. *Eurasian Soil Sc.* 2019. Vol. 52, No11, p. 1447-1455. DOI: [10.1134/S1064229319110036](https://doi.org/10.1134/S1064229319110036)
3. *Report on climate risks in the territory of the Russian Federation.* St. Petersburg, 2017. 106 p. (in Russian).
4. *Climatological reference book of the USSR. L.: Gidrometeoizdat, 1962. Vol. 20. No. 7, 8. 395 p. (in Russian).*
5. Krenke A.N., Cherenkova E.A., Chernavskaya M.M. Stability of snow cover on the territory of Russia in relation to climate change, *Ice and Snow, 2012, Vol. 52(1), p. 29-37.* DOI: [10.15356/2076-6734-2012-1-29-37](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2012-1-29-37)
6. Maksyutova E.V. Characteristics of snow cover in the forest-steppe of Cisbaikalia. *Ice and Snow, 2012, Vol. 52(1), p. 54-61.* DOI: [10.15356/2076-6734-2012-1-54-61](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2012-1-54-61)

7. Meleshko V.P., Kattsov V.M., Govorkova V.A., Sporyshev P.V., Shkolnik I.M., Shneerov B.E. Climate of Russia in the 21<sup>st</sup> century. Part 3. Future climate changes calculated with an ensemble of coupled atmosphere-ocean general circulation CMIP3 models, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2008, Vol. 9, p. 541-552. DOI: [10.3103/S106837390809001X](https://doi.org/10.3103/S106837390809001X)
8. *Meteorological Monthly*. Novosibirsk. 1961-1990. Vol. 20. Part. 2. No. 1-12. (in Russian)
9. Orlov A.D. Erosion and erosion-prone lands of Western Siberia. Novosibirsk Nauka Publ, 1983. 208 p. (in Russian)
10. Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A. Snow cover setting-up dates in the north of Eurasia: relations and feedback to the macro-scale atmospheric circulation, *Ice and Snow*, 2014, Vol.54(3), p. 39-49. (in Russian) DOI: [10.15356/2076-6734-2014-3-39-49](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-3-39-49)
11. *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO). 2017. 32 p.
12. Sosnovsky A.V., Osokin N.I. Effect of thaws on snow cover and soil freezing under the contemporary climate change, *Ice and Snow*, 2019, Vol. 59(4), p. 475-482. (in Russian). DOI: [10.15356/2076-6734-2019-4-433](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-433)
13. *Specialized arrays for climate research* (Accessed 24.09.2020)
14. *Handbook on the climate of the USSR*. Novosibirsk, 1977. Vol. 20. No. 2. 472 p. (in Russian).
15. Tanasienko A.A. *Erosion in Siberian Soils*. Novosibirsk: SB RAS, 2003. 176 p. (in Russian).
16. Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Miller G.F. Conditions and intensity of erosion-accumulative processes in the forest-steppe of the Predsalaireye. *Pochvovedenie*, 2013 No.11 p. 1397-1408. (in Russian). DOI: [10.7868/S0032180X13110099](https://doi.org/10.7868/S0032180X13110099)
17. Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Filimonova D.A. The impact of climatic humidity of the southeastern part of Western Siberia on spring deficit of moisture in the profiles of eroded chernozems, *Eurasian Soil Sc.*, 2019, Vol. 52, No.8, p. 935-944. DOI: [10.1134/S1064229319080143](https://doi.org/10.1134/S1064229319080143)
18. Titkova T.B., Vinogradova V.V. Snow occurrence time on the Russia's territory in the early 21st century (from satellite data), *Ice and Snow*, 2017, Vol. 57(1), p. 25-33. (in Russian). DOI: [10.15356/2076-6734-2017-1-25-33](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33)
19. Khudyakov O.I., Reshotkin O.V. Multidirectional changes in temperature of permafrost-affected soils during the growing season against the background increase in the mean annual air temperature, *Eurasian Soil Sc.*, 2020, Vol. 53, p. 607-618. DOI: [10.1134/S1064229320050075](https://doi.org/10.1134/S1064229320050075)
20. Shmakin A.B. Climatic characteristics of the snow cover of Northern Eurasia and their changes in recent decades, *Ice and Snow*. 2010. Vol.1 (109). p. 43-57. (in Russian).
21. Shmakin A.B., Osokin N.I., Sosnovsky A.V., Zazovskaya E.P., Borzenkova A.V. Influence of snow cover on soil freezing and thawing in the West Spitsbergen, *Ice and Snow*, 2013, Vol. 53(4), p. 52-59. (in Russian) DOI: [10.15356/2076-6734-2013-4-52-59](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-4-52-59)
22. Chumbaev A.S., Tanasienko A.A. Measuring Snowmelt in Siberia: Causes, Process, and Consequences. In book: Mueller L., Sheudshen A., Eulenstein F. (eds) 2016. Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. Springer Water. Springer, Cham. P. 213-231. DOI: [10.1007/978-3-319-24409-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24409-9_7)
23. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC, 2018, 630 p. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
24. Mankin J.S., Diffenbaugh N.S. Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends. *Climate Dynamics*. 2015, Vol. 45(3), p. 1099-1116. DOI: [10.1007/s00382-014-2357-4](https://doi.org/10.1007/s00382-014-2357-4)
25. Romanovsky V.E., Osterkamp T.E. Permafrost: changes and impacts. In book: Paepe R., Melnikov V.P., Van Overloop E., Gorokhov V.D. (eds) 2001. Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources. NATO Science Series (Series 2. Environment Security), Vol.76. Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-010-0684-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0684-2_20)
26. Schuur E., McGuire A., Schädel C., Grosse G., Harden J.W., Hayes D.J., Hugelius G., Koven C.D., Kuhry P., Lawrence D.M., Natali S.M., Olefeldt D., Romanovsky V.E., Schaefer K., Turetsky M.R., Treat C.C., Vonk J.E. Climate change and the permafrost carbon feedback, *Nature*, 2015, No 520, p. 171-179. DOI: [10.1038/nature14338](https://doi.org/10.1038/nature14338)
27. Semenov V.A., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM, *Climate Dynamics*, 2002, Vol.19, p. 123-140. DOI: [10.1007/s00382-001-0218-4](https://doi.org/10.1007/s00382-001-0218-4)
28. Westermann S., Boike J., Langer M., Schuler T.V., Eitzelmüller B. Modeling the impact of wintertime rain events on the thermal regime of permafrost, *The Cryosphere*, 2011, Vol. 5, p. 945-959. DOI: [10.5194/tc-5-945-2011](https://doi.org/10.5194/tc-5-945-2011)

Received 03 November 2020

Accepted 22 January 2021

Published 22 January 2021

#### About the authors:

**Chumbaev Alexander S.** – Cand. Sc. (Biology), Head of the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [chumbaev@issa-siberia.ru](mailto:chumbaev@issa-siberia.ru)

**Tanasienko Anatoly A.** – Doct. Sc. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [tanasienko@issa-siberia.ru](mailto:tanasienko@issa-siberia.ru)

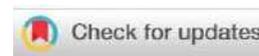
**Miller German F.** – Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [miller@issa-siberia.ru](mailto:miller@issa-siberia.ru)

**Solovev Sergey V.** – Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [solovyev@issa-siberia.ru](mailto:solovyev@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**CHARACTERIZATION OF THE CORE BACTERIOBIOME IN THE RHIZOSPHERE OF GREENHOUSE VEGETABLES: TAXONOMIC DIVERSITY AND PUTATIVE FUNCTIONS**© 2020 N. B. Naumova <sup>1</sup>, O. A. Savenkov <sup>1</sup>, T. Yu. Alikina <sup>2</sup>, Yu.V.Fotev<sup>3</sup><sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia.  
E-mail: [naumova@issa-siberia.ru](mailto:naumova@issa-siberia.ru), [savenkov@issa-siberia.ru](mailto:savenkov@issa-siberia.ru)<sup>2</sup> Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Lavrentieva 8, Novosibirsk 630090, Russia.  
E-mail: [alikhina@niboch.ru](mailto:alikhina@niboch.ru)<sup>3</sup> Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Zolotodolinskaya 101, 630090, Novosibirsk, Russia.  
E-mail: [fotev\\_2009@mail.ru](mailto:fotev_2009@mail.ru)

**The aim of the study.** The aim was to profile 16S rRNA gene diversity and to assess functional potential of bacterial assemblages in the rhizosphere of some unconventional vegetables grown in protected greenhouse conditions in West Siberia.

**Location and time of the study.** Novosibirsk, Russia, 2016.

**Methodology.** At the end of the growing season in the middle of September the rhizosphere soil was collected from the plants of wax gourd (*Benincasa hispida*), bitter melon (*Momordica charantia*), kiwano (*Cucumis metuliferus*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) grown on peat-based substrate in a polyethylene-protected greenhouse that has been in operation for more than 40 years. The metagenomic DNA was extracted and amplified with V3-V4 primers for 16S rRNA genes, and the amplicons sequenced with Illumina MiSeq. The obtained OTUs tables were used to predict putative functions by running through the FAPROTAX database.

**Main results.** The rhizosphere bacteriobiome was dominated by Proteobacteria (32±11% of the total number of sequence reads), Acidobacteria (23±7%) and Actinobacteria (18±3%) phyla, together accounting for about three quarters of the rhizosphere bacteriobiome. In total 20 bacterial phyla were found. The rhizosphere bacteriobiome was surprisingly diverse with Shannon index ranging 7.0–7.5. The number of the observed operational taxonomic units (OTUs) per sample was very high, ranging 4,500–4,900, and the potential number of OTUs estimated as 5,100–5,700; all those OTUs were evenly and equitably represented in the bacteriobiome, and dominance indices (Simpson dominance and Berger-Parker) were very low. The main dominant OTU represented Bradyrhizobiaceae family and accounted for just 1% on average. Overall the study identified 27 OTUs belonging to the Bradyrhizobiaceae family, but only four of them were ascribed to nitrogen fixation by FAPROTAX. Function prediction by FAPROTAX also suggested that bacteriobiome had a marked potential for the carbon cycle, denitrification, aromatic compound and plant polymer degradation, but no plant pathogens. The biggest difference in rhizosphere bacteriobiome diversity was observed between the bitter melon and the other three vegetable crops: bitter melon had much increased abundance of *Arthrobacter* and *Sphingomonas* as compared with wax gourd, kiwano and cowpea, and increased number of bacterial species associated with aromatic compounds degradation.

**Conclusion.** Based on the finding that the studied rhizosphere bacteriobiomes were very diverse, we conclude that the crops were able to recruit diverse microbiota from the peat-based soil substrate, which, in its turn, means that diverse soil substrate microbiota has been sustained over several decades of the greenhouse operation. All crops apparently shaped distinct bacteriobiomes in their rhizosphere, which ideally should be included into studies of plant-associated bacterial diversity profiles for breeding and sustainable production.

**Keywords:** rhizosphere microbiota; 16S rRNA gene amplicon sequencing; bitter melon; wax gourd; kiwano; cowpea; West Siberia.

**How to cite:** Naumova N. B., Savenkov O.A., Alikina T.Yu., Fotev Yu.V. Characterization of the core bacteriobiome in the rhizosphere of greenhouse vegetables: taxonomic diversity and putative functions // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(3). e128. DOI: [10.31251/pos.v3i3.128](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.128)

## INTRODUCTION

Sustainable crop production is of utmost importance for providing food, bioenergy, timber and other plant materials for the ever-growing human population. Except for carbon, plants derive macro- and micronutrients from soil, affecting the latter by their rhizodeposition and aboveground litter. Rhizosphere is the primary interface between plant and soil. The rhizosphere microbiota has been recognized as an important factor regulating the homeostasis of the host plant and influencing its fitness, and, ultimately, determining the quantity and quality of phytomass production. Thus understanding plant-microbe interactions is indispensable

for maintaining, increasing or restoring plant health (Berendsen et al. 2012; Trivedi et al., 2017) and agricultural ecosystem productivity (de la Fuente Canto et al., 2020; Tian et al., 2020).

It is even more essential to understand the processes going on in the rhizosphere and their specifics for better utilization of the microbial diversity (Vishwakarma et al., 2020) in sustainable greenhouse production, where biotic and abiotic factors can be controlled. Further climate warming that is forecast for the Asian part of northern Eurasia, alongside the quest for functional food, invites cultivation of new unconventional crops in the region, both under protected and open field conditions (Naumova et al. 2019). Vegetables are one of the most essential components of human diets due to their high nutritional value which provides carbohydrates, proteins, vitamins, and several other useful food elements. Due to these, vegetable consumption has increased considerably. Recently such vegetable crops as wax gourd, bitter melon, horned cucumber (kiwano), cowpea and some others have increasingly attracted attention as supplementary sources of healthy and functional food (Fang et al., 2019; Huang et al., 2020; Zhu et al., 2021), also in the Novosibirsk region (Fotev et al., 2019). Under protected condition the crops grow on artificial substrates, commonly based on peat. However, except for some staple vegetable crops like potato, tomato and cucumber, there is few data about the core and total rhizosphere microbiome of many vegetable crops and about specific mechanisms of how plants shape it (Kumar, Dubei, 2020). Such knowledge is particularly important for crops grown in protected conditions in greenhouses, especially operated for long time, as ultimately it will contribute to better crop performance and higher produce quality. This actualizes studies of unconventional vegetable crops' growth and development in the protected field in the Novosibirsk region. The aim of this pilot study was to profile 16S rRNA gene diversity and to assess functional potential of bacterial assemblages in the rhizosphere of the some unconventional vegetables grown in protected greenhouse conditions in West Siberia.

## MATERIALS AND METHODS

### *Experimental setup*

The greenhouse (54°48'46.7"N, 83°06'10.2" E, Figure S1) was constructed in 1976 by removing the top 50 cm layer of natural Phaeozem, filling the void by 10 cm of sand and a mixture of peat and sawdust to level with the surface. Since then the greenhouse has been used for breeding vegetable crops and maintaining their seed collections, as well as for introducing new for Russia vegetables. Over the years once in a while (2-3 years) the same or similar substrate was added as needed and mineral fertilizers (NPK) applied at crop-dependent rate during the growing season. In 2016, i.e. the year of sampling for the study, the soil substrate had neutral pH (7.0), 8.9% of organic carbon, 1.3% of organic nitrogen (C:N ratio 8.8), 154 mg N-NO<sub>3</sub>/ g soil, 77 P-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/g soil and 204 K-K<sub>2</sub>O mg/g soil. The polyethylene-covered greenhouse is not heated. Thus the growing season usually lasts since May till the end of September. The plants of the accessions from the Bioresource Scientific Collection of the Central Siberian Botanical Garden (CSBG SB RAS) UNU No. USU 440534 were used in the study. In the 2016 growing season the following vegetable crops were planted: wax gourd *Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn., bitter melon *Momordica charantia* L., kiwano (horned cucumber) *Cucumis metuliferus* E.Mey and cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. at the density of 2 plants per m<sup>2</sup>; each crop on a subplot of ca. 5.3 m<sup>2</sup>.

### *Soil sampling*

At the very end of the growing season (Figure S2, A-D) four plants were chosen at random from each crop subplot; then from each two of them rhizosphere soil was collected as the soil strongly adhering to 1–3 mm thick roots after gentle shaking over polyethylene (Zhao et al. 2010) and bulked together to produce two individual samples for each crop. Thus eight individual soil samples were collected. The samples were brought into the laboratory and stored at –20°C prior to DNA extraction.

### *Extraction of total nucleic acid from soil*

Total DNA was extracted from the soil samples using the DNA isolation Kit (DNeasy PowerSoil Kit, Qiagen, Germany) as per manufacturer's instructions. The bead-beating was performed using TissueLyser II (Qiagen, Germany) 10 min at 30 Hz. The quality of the extracted DNA was assessed by the spectrophotometer NanoDrop ND-1000 (Thermo Fisher, USA), by agarose gel electrophoresis and pilot PCR. No further purification of the DNA was needed.

### *16S rRNA gene amplification and sequencing*

The 16S DNA region was amplified with the primer pair V3/V4 combined with Illumina adapter sequences (Fadrosh et al. 2014). Amplification was performed by polymerase chain reaction (PCR) as described by Igolkina et al. (2018) in three replicates for one DNA sample used as template. A total of 200 ng PCR product from each PCR replicate were pooled together and purified through MinElute Gel

Extraction Kit (Qiagen, Germany). The obtained libraries were sequenced with  $2 \times 300$  bp paired-ends reagents on MiSeq (Illumina, USA) in SB RAS Genomics Core Facility (ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia). The read data reported in this study were submitted to the GenBank under the study accession PRJNAPRJNA702204 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/PRJNA702204>).

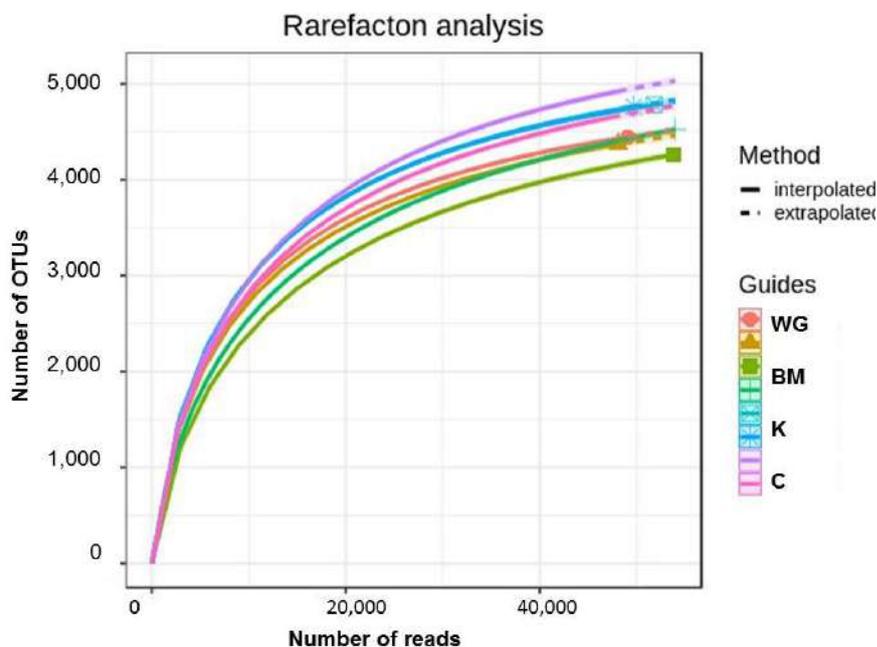
#### *Bioinformatics and statistical analysis*

Raw sequences were analyzed with the UPARSE pipeline (Edgar, 2013) using Usearch v11.0. The UPARSE pipeline included the merging of paired reads; read quality filtering; length trimming; merging of identical reads (dereplication); discarding singleton reads; removing chimeras and operational taxonomic unit (OTU) clustering using the UNOISE-OTU algorithm (Edgar, 2016a). The OTU sequences were assigned taxonomically using the SINTAX (Edgar, 2016b) and 16S RDP training set v.16 (Wang et al., 2007). After quality filtering and chimera removal overall 8743 OTUs were found; 23 of them represented *Archaea* and were removed from further analyses. Taxonomic structure of thus obtained bacteriobiome, i.e. bacterial part of the microbiome which is defined by J.R. Marchesi and J. Ravel (2015) as referring “to the entire habitat, including the microorganisms (bacteria, archaea, lower and higher eukaryotes, and viruses), their genomes (i.e., genes), and the surrounding environmental conditions”, was estimated by the ratio of the number of taxon-specific sequences reads to the total number of sequence reads (relative abundance of taxa, expressed as a percentage). The obtained OTUs tables were used to predict putative functions by running through the Functional Annotation of Prokaryotic Taxa (FAPROTAX, v.1.2.4) database (Louca et al., 2016), available at <http://www.zoology.ubc.ca/louca/FAPROTAX>. Thus some of the OTUs identified in the study were assigned functionality or environment niche. Biodiversity indices calculated with the help of the PAST 3.19 software (Hammer et al., 2001). The data were represented as a mean.

## RESULTS

### Taxonomic richness of the rhizosphere bacteriobiome

After quality filtering and chimera removal overall 8720 bacterial OTUs were found in the rhizosphere samples. The 16S amplicon sequence reads datasets were analyzed by individual rarefaction (Figure 1): the number of OTUs detected, reaching a plateau with increasing number of sequences, showed that the sampling effort was close to saturation for all samples, thus being enough to compare diversity (Hughes, Hellmann 2005).



**Figure 1.** Rarefaction curve for the studied rhizosphere soils. The samples are not specified as all lines are close to each other.

The number of OTUs per sample averaged 4,713, ranging 4,400–5,000. In total 20 bacterial phyla and 53 identified and 15 non-identified (below the phylum level) classes were found. Quite a lot of OTU-

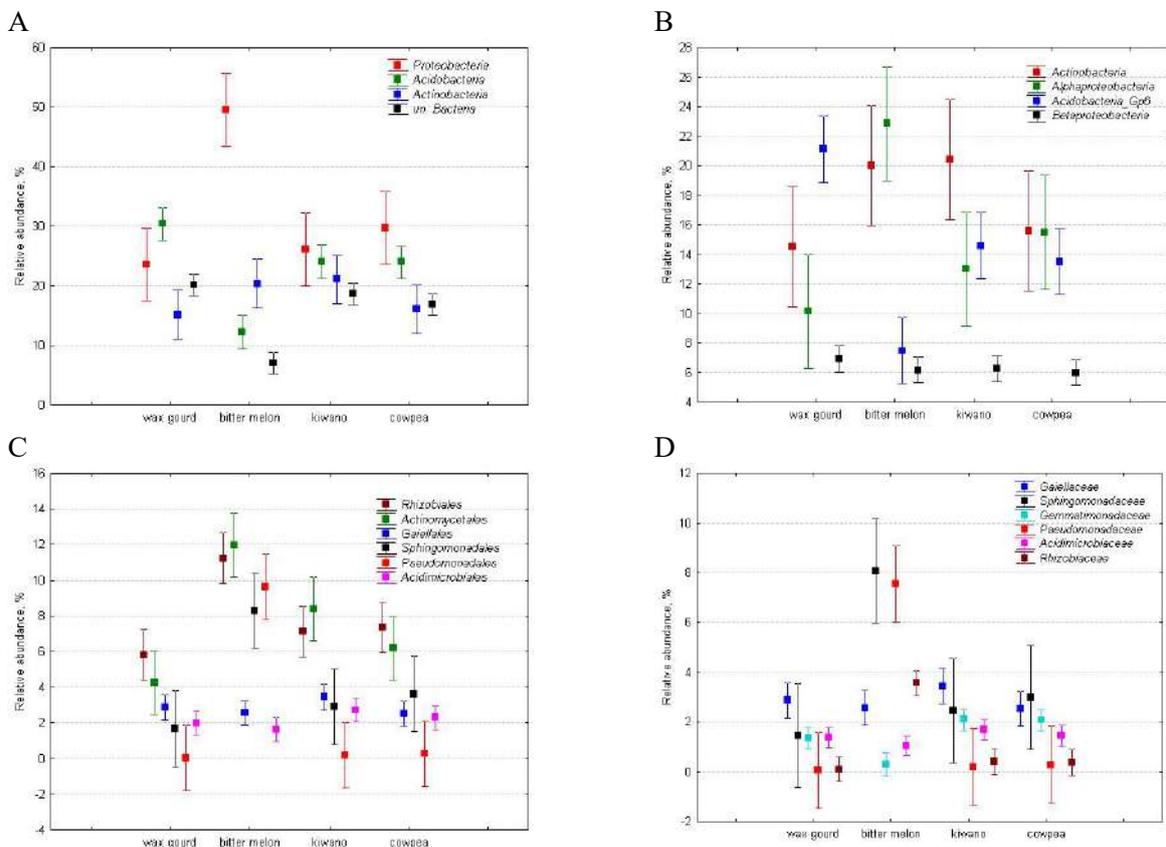
level clusters (19% of the total number of OTUs, or 14% of the total number of sequence reads) could not be classified below the domain level, most likely signifying their absence in the database. The most OTU-rich phylum was *Proteobacteria* with 2,552 OTUs (29% of the total number of OTUs), followed by *Acidobacteria* with 1,724 OTUs (20%) and *Actinobacteria*, represented by 1,384 OTUs (16%).

### Taxonomic structure of the rhizosphere bacteriome

As for the relative abundance of taxa, assessed by the ratio of a taxon-specific sequence to the total number of sequence reads, the rhizosphere bacteriome of the studied vegetables was dominated by *Proteobacteria* (32±11% of the total number of sequence reads), *Acidobacteria* (23±7%) and *Actinobacteria* (18±3%) phyla (Figure 2, A). Summed up, the joint abundance of these dominant phyla comprised more than three quarters of the rhizosphere bacteriome. Other prevailing phylum was *Bacteroidetes* with its 4.3±1.6%. The phyla *Gemmatimonadetes*, *Firmicutes* and *canid.Saccharibacteria* each accounted for ca. 1%, being minor dominants. The rest of the identified phyla were quite negligible, contributing less than 1.0% each. Unclassified *Bacteria*, however, comprised 16% on average.

At the class level *Actinobacteria*, averaging 17.6±3.2% was the most abundant (Figure 2, B), followed by *Alphaproteobacteria* (15.4±5.3%) and *Acidobacteria group 6* (14.2±5.2%). *Betaproteobacteria* and *Deltaproteobacteria* contributed slightly over 2% each into the total bacteriome. Other *Acidobacteria* classes, i.e. groups 16, 3 and 4, accounted for 1-4% each. At the order level, some unclassified *Bacteria* were the most abundant, followed by *Acidobacteria group 6 Rhizobiales*, *Actinomycetales*, *Gaiellales* and unclassified *Actinobacteria* (Figure 2, C).

At the OTUs level, the structure was very even and equitable: only 7 OTUs had relative abundance ranging from 0.5 to 1.1%. The main dominant OTU represented *Bradyrhizobiaceae* family and accounted for just 1.1%. Other dominants represented *Spartobacteria* class (one OTU with 0.8%), *Acidobacteria group 16* (one OTU with 0.7%), *Sphagnumonas* genus of the *Alphaproteobacteria* (two OTUs with 0.5–0.7%) and *Actinobacteriales* and *Gaiellales* orders of *Actinobacteria* class (also two OTUs with 0.5–0.7%). Overall such low relative abundance for an OTU together with a very high number of OTUs detected resulted in very high diversity indices and extremely low dominance indices (Table 1).



**Figure 2.** Relative abundance of the major dominant bacterial taxa: A – phyla, B – classes, C – orders and D – families. The taxa that were not explicitly assigned a taxonomy at the corresponding level, are not shown. The markers show the means, and the whiskers show standard deviation.

Table 1

Bacteriobiome  $\alpha$ -diversity indices in the rhizosphere soil of vegetables grown in a greenhouse

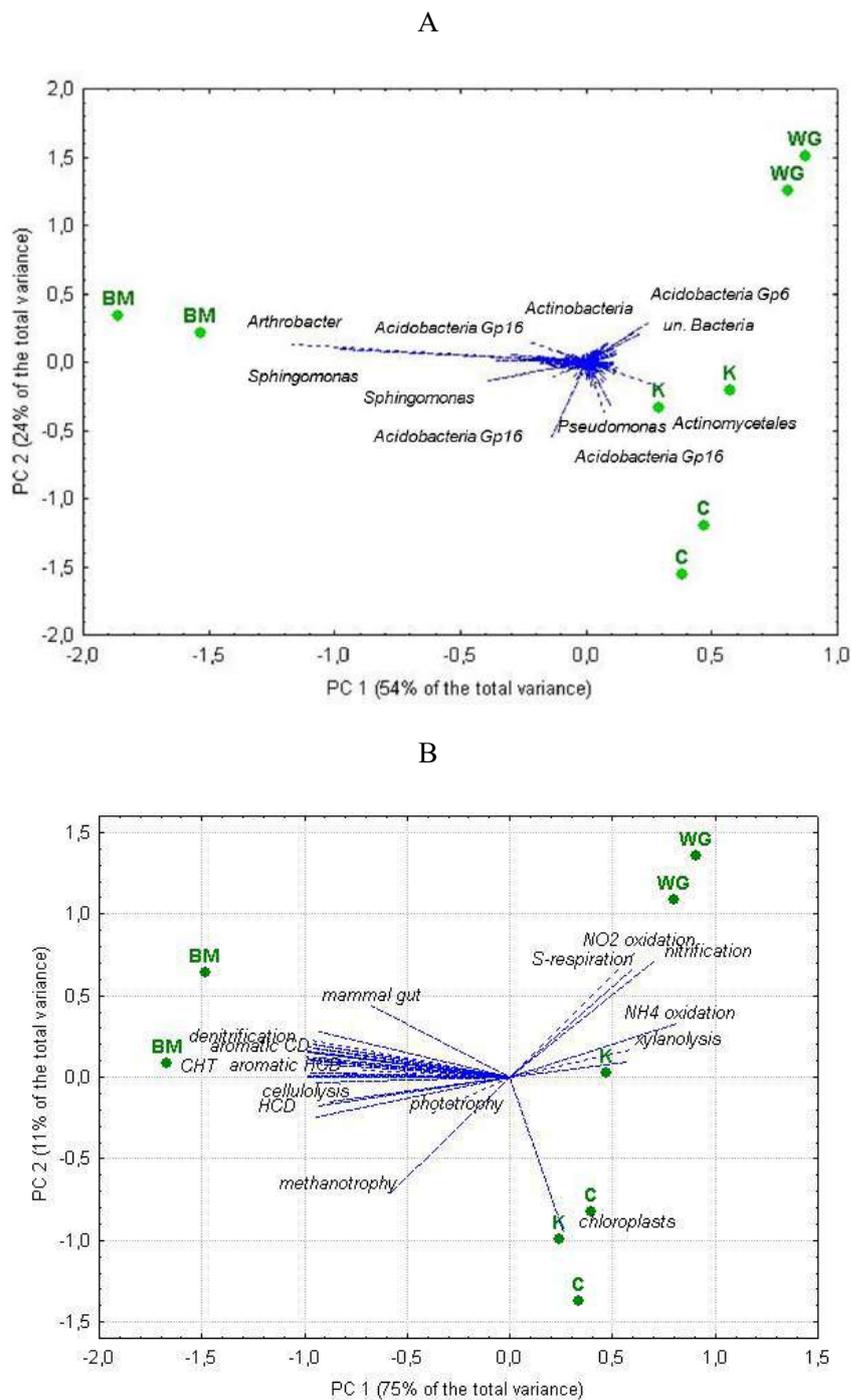
Vegetable crop	Observed OTUs richness	Chao-1	Shannon	Dominance	Berger-Parker	Evenness
Wax gourd	4515±62 a*	5162±33 a	7.52±0.03 b	0.001±0.000 a	0.008±0.000 a	0.41±0.01 b
Bitter melon	4526±167 a	5353±213 ab	6.96±0.13 a	0.005±0.000 b	0.036±0.004 c	0.23±0.02 a
Kiwano	4900±18 b	5551±49 bc	7.62±0.02 b	0.001±0.000 a	0.013±0.003 ab	0.42±0.01 b
Cowpea	4911±200 b	5730±187 c	7.53±0.06 b	0.001±0.000 a	0.016±0.001 b	0.38±0.01 b

\*Different letters in columns indicate that the values differ at  $P \leq 0.05$  level (LSD test).

Principal components analysis revealed some separation of soil samples from different crops, the replicates being close to each other. Similar pattern of sample relationship was obtained by extracting principal components from one data matrix with OTUs' relative abundance as variables for analysis and from another data matrix with the number of OTUs assigned to a certain function/niche in the FAPROTAX database as variables for analysis. In the first case (Figure 1, A), most of the variance in PC 1 was due to the *Arthrobacter* sp. (*Actinobacteria*) and OTUs, belonging to *Acidobacteria Group\_16* and *Sphingomonas* genus, at the negative pole (together with bitter melon), and unclassified OTUs, belonging to *Actinomycetales*, *Acidobacteria Group\_6* and *Bacteria*, at the PC 1 positive pole (together with wax gourd, kiwano and cowpea).

#### Putative functions in the rhizosphere bacteriobiome

At the date of analysis the FAPROTAX database contained information about 92 functional groups. The overwhelming majority of the total number of OTUs, precisely 7574, or. ca. 87%) found in this study, could not be assigned to any of those groups. The rest 1146 OTUs were assigned to 50 groups, with some of them being assigned to more than one functional group. Overall function prediction by FAPROTAX suggested that the core bacteriobiome had a marked potential for the carbon cycle, nitrate metabolism, aromatic compound degradation, cellulolysis, and xylanolysis, but no plant pathogens and few human ones. The principal components analysis of the data matrix with the number of OTUs (not their relative abundance), assigned to specific functions, as columns, i.e. variables for the analysis, and rhizosphere samples as rows, i.e. cases, revealed (Figure 1, B) that most of the data variance in PC 1 was due to the chemoheterotrophy, aromatic compounds degradation and cellulose and chitin lysis at the negative pole (together with bitter melon samples), and mineral N, C and S transformation and xylanolysis at the PC 1 positive pole (together with wax gourd, kiwano and cowpea). Naturally, chemoheterotrophy was by far the most OTU rich function. As nitrogen is one of the most important plant nutrients in peat-based soil substrates, so the number of OTUs ascribed to nitrogen-related functions was of special interest. Nitrate reduction was second-ranked in species richness, with 91 OTUs of *Gaiella occulta* (*Actinobacteria* phylum), 32 OTUs of the *Proteobacteria* phylum, 14 OTUs of *Opitutus terrae* of the *Verrucomicrobia* phylum. Nitrification potential was ascribed to 35 OTUs: 25 of unidentified *Nitrospira* (*Nitrospirae* phylum) and 9 of *Nitrosospira* (*Proteobacteria* phylum). Nitrogen fixation was identified for six OTUs of the *Proteobacteria* phylum, 4 of them representing *Bradyrhizobium* genus, one *Beijerinckia* sp., and another one *Azotobacter salinestris*.



**Figure 3.** Principal components analysis of the data matrices with relative abundance of bacterial taxa (A) and with the number of OTUs assigned to specific functions (B) as variables for analysis: location of variables and rhizosphere soil samples in the plane of the first two principal components. Abbreviations used: WG – wax gourd, BM – bitter melon, K – kiwano, C – cowpea; CHT – chemoheterotropy; HCD – hydrocarbon degradation.

#### DISCUSSION

By examining bacterial 16S rRNA gene sequence diversity we found that the rhizosphere microbiome of the studied vegetables was dominated by *Proteobacteria*, *Acidobacteria* and *Actinobacteria*, together accounting for *ca.* 75% of the total number of sequence reads. We could not find information about microbiome diversity in the rhizosphere soil of the same vegetable crops or in the bulk soil where they grow. Although one can find some articles allegedly devoted to bacterial diversity in the rhizosphere of vegetable crops,

they described culturable bacteria, often without taxonomic attribution (Singh et al., 2017). Therefore we can compare the rhizosphere bacterial profiles obtained in our study with similar studies of more economically important and hence better studied vegetables crops like cucumber. The latter was reported to have similar composition of rhizosphere bacteriome at the phylum-level (the three of them together accounting for ca.70%), but *Actinobacteria* was second-ranked in relative abundance (Wang et al., 2018). Yet another study from China about the rhizosphere bacterial diversity of cucumber plants grown in soils covering a wide range of cucumber cropping histories and environmental conditions found that the three main dominant bacterial phyla were *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* and *Actinobacteria* (Tian, Gao, 2014). Comparison with the rhizosphere bacteriome of husk tomato, grown in the same year in the same region (Naumova et al., 2019), but on loamy arable Phaeozem in the open field, showed that there the bacteriome structure, at least at the higher taxonomic levels, was quite similar to the found in this study. The same phylum-level bacteriome structure was also found in the rhizosphere of sugarcane (Zhao et al., 2020) and canola (Floc'h et al., 2020).

Notably, FAPROTAX found nitrate transformation functions, namely denitrification/nitrification, to be the most species-rich (after chemoheterotrophy), which is quite reasonable in the greenhouse soil substrate receiving mineral NPK fertilizers with nitrogen as nitrate. We did not find plant pathogenic bacteria in the entire plethora of OTUs identified in the rhizosphere of vegetables. Together with the fact that no disease afflicted the plants during the growing season at the end of which the sampling was performed, it suggests that the greenhouse soil substrate is either disease-suppressive (Berendsen et al., 2012; Trivedi et al., 2017), or just lacks the pathogens for these rather novel crops. However, partially this finding resulted from the incompleteness of FAPROTAX, as there are many yet unidentified and unculturable bacteria. It should be emphasized that the database has been initiated “by classifying >30,000 marine microorganisms into metabolic functional groups” (Louca et al., 2016, p. 1272), which may explain that a) no plant pathogens were found, and b) very low percentage (13%) of the total number of OTUs assigned to some functions/niches. Such low percentage may imply that the database does not represent adequately soil bacteria. Moreover, there is a basic methodological flaw in the database, as there is no consistency in the terminology used by the authors to describe metabolic functions: for instance, “chemoheterotrophy” alongside with “plant pathogens”, “aromatic\_compound\_degradation” alongside with “human gut”, etc. From these two examples it is obvious that the predicted functions are not exclusive. In addition, functional groups there are often nested: for example, all taxa associated with aerobic chemoheterotrophy are also within chemoheterotrophy. It raises another issue about how relative abundance of OTUs assigned to certain functions can be calculated, which is what many researchers did (as an example see Zhou et al., 2020). Because of this we analyzed only the number of OTUs for certain functions, rather than their relative abundance, to get a glimpse of the database performance with soil data: we tend to conclude that currently the FAPROTAX output is quite limited and often confusing to interpret. Moreover, one should be well aware that the number of OTUs, allotted to certain functions/environmental niches by the FAPROTAX database, is indicative only of a certain potential functionality and by no means of the actual respective functional performance and/or functional bacterial assemblage structure.

Although the definition of rhizosphere as the volume of soil affected by exudates from plant root tissues (Pinton et al., 2007) is rather straightforward and unequivocal, operationally it is rather challenging to determine the boundaries of thus affected soil volume and collect soil samples appropriately. Besides, the rhizodeposition may differ between roots of different age/thickness, the effect varying between different cultivars/crops/species (Rovira, 1959; Singh et al., 2017); all these factors may add to the variation among rhizosphere microbiomes. With this in mind, we believe that close location of the two individual rhizosphere soil samples from each crop in the plane of the first two principal components (Figure 2) may indicate good replication and low intra-crop variability. Notably, among the studied samples we found the similar pattern of relationship, obtained by principal components analysis of the two data matrices with different kind of variables: 1) the matrix with relative abundance of OTU's sequences in the total number of sequences, generated in the study, and 2) the number of OTUs ascribed to a certain function/niche in the FAPROTAX database. As those variables are by no means correlated, the similarity in the samples' relationship pattern confirms differences in functional and taxonomic diversity between bitter melon and other crops in this study.

Our finding that bacteriome variation within one family (*Cucurbitaceae*) may be much more pronounced than the variation between different families (*Cucurbitaceae* and *Fabaceae*) implies that variation in crops' phytomass chemistry, and in particular between bitter melon and wax gourd (Yu et al., 2019; Zhu et al., 2021), may be the factor, primarily responsible for shaping the bacteriome diversity and consequently, the revealed pattern of the studied samples relationship. The spectra of cucurbitacins, a

group of bitter and highly oxygenated tetracyclic triterpenes that are produced by cucurbits, although structurally related, but yet unique species-specific products (Zhou et al., 2016); they might contribute to shaping not only the entire bacteriobiome, but also to the absence of plant pathogenic species.

We found a surprisingly diverse bacteriobiome in the rhizosphere of some vegetable crops grown on peat substrate in polyethylene-protected greenhouse that has been in operation for more than 40 years. The  $\alpha$ -diversity indices, calculated in this study, are comparable with the indices calculated for the husk tomato grown in the open field in the same region (Naumova et al., 2019); for the rhizosphere bacteriobiome of other vegetables, like cucumber (Wen et al., 2020) and other crops (sugarcane, Zhao et al., 2020). Therefore it seems that the chemical diversity of root exudates (Rovira, 1969; Uren, 2000; Zhalnina et al., 2018), i.e. compounds, easily available for microbial utilization, can recruit and sustain high bacterial species diversity in rhizosphere even after the long-term use for greenhouse crop production. As reduction in soil microbial diversity was shown to be associated with the burst of soil-borne plant diseases (Mazzola et al., 2004), the high biodiversity in this study apparently contributed to healthy status of the vegetables.

One should always bear in mind that proportions of gene copy numbers, be they 16S rRNA or functional genes, are not entirely synonymic with the number of the relevant organisms present and the intensity of the processes they perform. In fact, few publications report revealing microbial community structure-process links (Bier et al., 2015). Therefore microbiome profiles provide just scaffolding for constructing more comprehensive and/or targeted research.

### CONCLUSION

To the best of our knowledge, here we present the first study describing bacteriobiome in the rhizosphere of several unconventional for West Siberia vegetable crops, such as bitter melon, wax gourd, kiwano and cowpea, grown on peat-based soil substrate in the greenhouse, using high-throughput sequencing techniques. We believe the obtained information will help focusing further more extensive research on rhizosphere microbiome as related to plant host and soil environment and also serve as a reference for comparing other data, as well as for meta-analysis. Based on the finding that the studied rhizosphere bacteriobiomes were very diverse, we conclude that the crops were able to recruit diverse microbiota from the peat-based soil substrate, which, in its turn, means that diverse microbiota has been sustained over several decades of the greenhouse operation. All crops apparently shaped distinct bacteriobiomes in their rhizosphere, which ideally should be included into studies of plant-associated bacterial diversity profiles for breeding and sustainable greenhouse production. As an important plant-associated characteristic, rhizosphere microbiota deserves more comprehensive research by combined metagenomic and general microbiological techniques, which will most likely find novel taxa and/or novel ecotypes and relate them to certain functions. We believe that such knowledge will be extremely helpful in the future for shaping plant-associated artificial microbiota for quality yields of functional food production under hydroponics conditions.

### FINANCIAL SUPPORT

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects nos. AAAA-A17-117030110078-1, AAAA-A17-117012610054-6 and AAAA-A17-117020210021-7).

### REFERENCES

1. Berendsen R.L., Pieterse C.M., Bakker P.A. The rhizosphere microbiome and plant health, *Trends Plant Sci.*, 2012, V.17, No.8, p. 478–486. DOI: [10.1016/j.tplants.2012.04.001](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001)
2. Bier R.L., Bernhardt E.S., Boot C.M., Graham E.B., Hall E.K., Lennon J.T., Nemergut D.R., Osborne B.B., Ruiz-González C., Schimel J.P., Waldrop M.P., Wallenstein M. D. Linking microbial community structure and microbial processes: an empirical and conceptual overview, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 2015, V.91, No. 10, fiv113. DOI: [10.1093/femsec/fiv113](https://doi.org/10.1093/femsec/fiv113)
3. Edgar R.C. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads, *Nat Methods*, 2013, V.10, p. 996–998.
4. Edgar R.C. UNOISE2: Improved error-correction for Illumina 16S and ITS amplicon reads, *bioRxiv*, 2016a. DOI: [10.1101/081257](https://doi.org/10.1101/081257)
5. Edgar R.C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences, *bioRxiv*, 2016b. DOI: [10.1101/074161](https://doi.org/10.1101/074161)
6. Fadrosh D.W., Ma B., Gajer P., et al. An improved dual-indexing approach for multiplexed 16S rRNA gene sequencing on the Illumina MiSeq platform, *Microbiome*, 2014, V.2, P.1–6. DOI: [10.1186/2049-2618-2-6](https://doi.org/10.1186/2049-2618-2-6)

7. Fang E.F., Froetscher L., Scheibye-Knudsen M., Bohr V.A., Wong J.H., Ng T.B. Emerging Antitumor Activities of the Bitter Melon (*Momordica charantia*), *Curr. Protein Peptide Sci.*, 2019, V.20, No. 3, p.296–301. DOI: [10.2174/1389203719666180622095800](https://doi.org/10.2174/1389203719666180622095800)
8. Floc'h J.B., Hamel C., Lupwayi N., Harker K.N., Hijri M., St-Arnaud M. Bacterial Communities of the Canola Rhizosphere: Network Analysis Reveals a Core Bacterium Shaping Microbial Interactions, *Front Microbiol.*, 2020, V. 11, Article 1587. DOI: [10.3389/fmicb.2020.01587](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01587)
9. Fotev Y.V., Syso A.I., Shevchuk O.M. *Introduction in Siberia (Russia) of new vegetable species with a high biochemical value* In book: PlantGen2019. Current. Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. Proc. of the Fifth Inter. Sci. Conf. (Novosibirsk, 24-29 June, 2019). Kochetov A., Salina E. (eds.). Novosibirsk, 2019. P.12–14. DOI: [10.18699/ICG-PlantGen2019-01](https://doi.org/10.18699/ICG-PlantGen2019-01)
10. de la Fuente Cantó C., Simonin M., King E., Moulin L., Bennett M.J., Castrillo G., Laplaze L. An extended root phenotype: the rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness, *The Plant J.*, 2020, V. 103, Iss. 3, p. 951–964. DOI: [10.1111/tpj.14781](https://doi.org/10.1111/tpj.14781)
11. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, 2001, V.4, Iss.1, p.9.
12. Huang H., Chen F., Long R., Huang G. The antioxidant activities in vivo of bitter gourd polysaccharide, // *Int. J. Biol. Macromol.*, 2020, V.145, p.141–144. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2019.12.165](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.165)
13. Igolkina A.A., Grekhov G.A., Pershina E.V., et al. Identifying components of mixed and contaminated soil samples by detecting specific signatures of control 16S rRNA libraries, *Ecol. Ind.*, 2018, V.94, p. 446–453. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.06.060](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.060)
14. Kumar A., Dubei A. Rhizosphere microbiome: Engineering bacterial competitiveness for enhancing crop production, *J. Adv. Res.*, 2020, V. 24, p.337–352. DOI: [10.1016/j.jare.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.04.014)
15. Louca S., Parfrey L.W., Doebeli M. Decoupling function and taxonomy in the global ocean microbiome, *Science*, 2016, V. 353, p.1272–1277. DOI: [10.1126/science.aaf4507](https://doi.org/10.1126/science.aaf4507)
16. Marchesi J.R., Ravel J. The vocabulary of microbiome research: a proposal, *Microbiome*, 2015, V. 3, p. 31. DOI: [10.1186/s40168-015-0094-5](https://doi.org/10.1186/s40168-015-0094-5)
17. Mazzola M. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression, *Annu Rev Phytopathol.*, 2004, V.42, P.35–59. DOI: [10.1146/annurev.phyto.42.040803.140408](https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140408)
18. Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P. *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*: Boca Raton: CRC Press, 2007.
19. Rovira A.D. Plant root exudates, *Botanical Review*, 1959, V.35, No. 1, p. 35–57.
20. Rovira A.D. Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. IV. Influence of plant species, age of plant, light, temperature, and calcium nutrition on exudation, *Plant and Soil*, 1969, V.11, p. 53–64.
21. Singh R., Kumar A., Singh M., Vandana, Kumar Maurya S., Pandey K.D. Microbial Diversity in the Rhizosphere of *Momordica charantia* L. Bitter Gourd, *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2017, V.6, No. 2, p. 67–76. DOI: [10.20546/ijemas.2017.602.009](https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.602.009)
22. Sur S., Ray R.B. Bitter Melon (*Momordica Charantia*), a Nutraceutical Approach for Cancer Prevention and Therapy, *Cancers*, 2020, V.12, No. 8, Article 2064. DOI: [10.3390/cancers12082064](https://doi.org/10.3390/cancers12082064)
23. Tian Y., Gao L. Bacterial Diversity in the Rhizosphere of Cucumbers Grown in Soils Covering a Wide Range of Cucumber Cropping Histories and Environmental Conditions, *Microb. Ecol.*, 2014, V.68, p. 794–806. DOI: [10.1007/s00248-014-0461-y](https://doi.org/10.1007/s00248-014-0461-y)
24. Tian L., Lin X., Tian J., Ji L., Chen Y., Tran L. P., Tian C. Research Advances of Beneficial Microbiota Associated with Crop Plants, *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, V.21, No. 5, p.1792. DOI: [10.3390/ijms21051792](https://doi.org/10.3390/ijms21051792)
25. Trivedi P., Delgado-Baquerizo M., Trivedi C., Hamonts K., Anderson I.C., Singh B.K. Keystone microbial taxa regulate the invasion of a fungal pathogen in agro-ecosystems, *Soil Biol. Biochem.*, 2017, V.111, p.10–14.
26. Trivedi P., Schenk P. M., Wallenstein M. D., Singh B. K. Tiny Microbes, Big Yields: enhancing food crop production with biological solutions, *Microb. Biotechnol.*, 2017, V.10, No. 5, p.999–1003. DOI: [10.1111/1751-7915.12804](https://doi.org/10.1111/1751-7915.12804)
27. Uren N.C. *Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants*. In *The Rhizosphere*. CRC Press: Boca Raton, USA, 2000, p. 35–56.
28. Vishwakarma K., Kumar N., Shandilya C., Mohapatra S., Bhayana S., Varma A. Revisiting Plant–Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review, *Front. Microbiol.*, 2020, V. 11, Article 560406. DOI: [10.3389/fmicb.2020.560406](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406)
29. Wang Z., Zhang J., Wu F., Zhou X. Changes in rhizosphere microbial communities in potted cucumber seedlings treated with syringic acid, *PLoS ONE*, 2018, V. 13(6), e0200007. DOI: [10.1371/journal.pone.0200007](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200007)
30. Wang Q., Garrity G.M., Tiedje J.M., Cole J.R. Naïve Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial Taxonomy, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2007, V.73, p.5261–5267. DOI: [10.1128/AEM.00062-07](https://doi.org/10.1128/AEM.00062-07)
31. Wen T., Yuan J., He X. et al. Enrichment of beneficial cucumber rhizosphere microbes mediated by organic acid secretion, *Hortic. Res.*, 2020, V.7, p.154. DOI: [10.1038/s41438-020-00380-3](https://doi.org/10.1038/s41438-020-00380-3)

32. Yu D., Ma Y., Chen M., Dong X. KOH activation of wax gourd-derived carbon materials with high porosity and heteroatom content for aqueous or all-solid-state, *J. Colloid Interface Sci.*, 2019, V.537, p.569–578. DOI: [10.1016/j.jcis.2018.11.070](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.11.070)
33. Zhalnina K., Louie K.B., Hao Z., Mansoori N., da Rocha U.N., Shi S., Cho H., Karaoz U., Loqué D., Bowen B.P., Firestone M.K., Northen T.R., Brodie E.L. Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly, *Nat. Microbiol.*, 2018, V.3, No.4, p.470-480. DOI: [10.1038/s41564-018-0129-3](https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3)
34. Zhao X., Jiang Y., Liu Q., Yang H., Wang Z., Zhang M. Effects of Drought-Tolerant Ea-DREB2B Transgenic Sugarcane on Bacterial Communities in Soil, *Front Microbiol.*, 2020, V.11, Article 704. DOI: [10.3389/fmicb.2020.00704](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00704)
35. Zhou Y., Ma Y., Zeng J., Duan L., Xue X., Wang H., Lin T., Liu Z., Zeng K., Zhong Y., Zhang S., Hu Q., Liu M., Zhang H., Reed J., Moses T., Liu X., Huang P., Qing Z., Liu X., ... Huang, S. Convergence and divergence of bitterness biosynthesis and regulation in *Cucurbitaceae*, *Nat. Plants.*, 2016, V.2, 16183. DOI: [10.1038/nplants.2016.183](https://doi.org/10.1038/nplants.2016.183)
36. Zhou J., Yu L., Zhang J., Zhang X., Xue Y., Liu J., Zou X. Characterization of the core microbiome in tobacco leaves during aging, *Microbiology Open*, 2020, V.9, No.3, e984. DOI: [10.1002/mbo3.984](https://doi.org/10.1002/mbo3.984)
37. Zhu M., Huang R., Wen P., Song Y., He B., Tan J., Hao H., Wang H. Structural characterization and immunological activity of pectin polysaccharide from kiwano (*Cucumis metuliferus*) peels, *Carbohydrate polymers*, 2021, V.254, Art. 117371. DOI: [10.1016/j.carbpol.2020.117371](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117371)

Received 27 January 2021

Accepted 17 February 2021

Published 19 February 2021

#### About the authors:

**Naumova Natalia B.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; [naumova@issa-siberia.ru](mailto:naumova@issa-siberia.ru)

**Savenkov Oleg A.** – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; [savenkov@issa-siberia.ru](mailto:savenkov@issa-siberia.ru)

**Alikina Tatiana Yu.** – Junior Researcher in the “Genomics” Core Facility, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; [alikinga@niboch.nsc.ru](mailto:alikinga@niboch.nsc.ru)

**Fotev Yury V.** – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Introduction of Food Plants in the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; [fotev\\_2009@mail.ru](mailto:fotev_2009@mail.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## ХАРАКТЕРИСТИКА БАКТЕРИОБИОМА РИЗОСФЕРЫ ТЕПЛИЧНЫХ ОВОЩЕЙ: ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

© 2020 Н. Б. Наумова <sup>1</sup>, О. А. Савенков <sup>1</sup>, Т. Ю. Аликина <sup>2</sup>, Ю. В. Фотев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [naumova@issa-siberia.ru](mailto:naumova@issa-siberia.ru), [savenkov@issa-siberia.ru](mailto:savenkov@issa-siberia.ru)

<sup>2</sup>ФГБУН Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [alikina@niboch.ru](mailto:alikina@niboch.ru)

<sup>3</sup>ФГБУН Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [fotev\\_2009@mail.ru](mailto:fotev_2009@mail.ru)

**Цель исследования.** Целью исследования было изучение разнообразия последовательностей генов 16S рРНК и оценка функционального потенциала бактериальных ансамблей ризосферы некоторых нетрадиционных для страны овощей, выращиваемых в условиях защищенного грунта на юге Западной Сибири.

**Место и время исследования.** Новосибирск, 2016.

**Методология.** В середине сентября в конце вегетационного сезона отобрали образцы почвы ризосферы растений бенинказы (*Benincasa hispida*), момордики (*Momordica charantia*), кивано (*Cucumis metuliferus*) и вигны (*Vigna unguiculata*), выращенных на торфяном почвосубстрате в условиях защищенного грунта теплицы, эксплуатируемой более 40 лет. Метагеномную ДНК экстрагировали, амплифицировали с помощью V3-V4 праймеров к гену 16S рРНК, и ампликоны секвенировали на Illumina MiSeq. Полученные операционные таксономические единицы (ОТЕ) использовали для выявления функциональных групп с помощью базы данных FAPROTAX.

**Основные результаты.** В бактериобиоме ризосферы доминировали представители типов *Proteobacteria* (32±11% от общего числа последовательностей), *Acidobacteria* (23±7%) и *Actinobacteria* (18±3%), последовательности которых в сумме составляли три четверти обилия ризосферного бактериобиома. Всего было выявлено 20 типов бактерий. Биоразнообразие бактериобиома ризосферы оказалось очень высоко: так, индекс  $\alpha$ -биоразнообразия Шеннона варьировал 7,0-7,5. Число выявленных ОТЕ (видовое разнообразие) было тоже высоко, варьируя по образцам 4500–4900, в то время как оценка потенциального числа ОТЕ (индекс Као-1) составила 5100–5700 ОТЕ на образец. Все ОТЕ были равномерно распределены в бактериобиоме, и индексы доминирования (Симпсона и Бергер-Паркера) были очень низки. Основным доминантом, но всего с 1% относительного обилия, относился к семейству *Bradyrhizobiaceae*; всего было выявлено 27 ОТЕ этого семейства, однако FAPROTAX выявила всего четырех азотфиксаторов среди них. В целом выявленные функциональные группы указали на большой потенциал бактериальных ансамблей в плане процессов трансформации углерода, денитрификации, деградации ароматических соединений и растительных полимеров; патогенов растений не было выявлено. Наибольшая разница была выявлена между момордикой и остальными овощными культурами: в ризосфере момордики оказалось повышено относительное обилие *Arthrobacter* и *Sphingomonas* и число ОТЕ, способных к деградации ароматических соединений.

**Заключение.** Выявленное высокое биоразнообразие бактериобиома ризосферы овощных культур позволяет заключить, что эти овощные культуры успешно привлекали своими корневыми выделениями разнообразную микробиоту из тепличного торфяного почвосубстрата, что, в свою очередь, свидетельствует о высоком биоразнообразии микробиоты, существующей в почвосубстрате теплицы на протяжении ее длительной эксплуатации. Несмотря на сходство таксономической структуры бактериобиома ризосферы, выявленные особенности различных культур подтверждают необходимость включения изучения бактериального разнообразия в программы селекции и обработки технологий тепличного производства овощей.

**Ключевые слова:** микробиота ризосферы; секвенирование ампликонов генов 16S рРНК; момордика; бенинказа; кивано; вигна; Западная Сибирь.

**Цитирование:** Naumova N. B., Savenkov O.A., Alikina T.Yu., Fotev Yu.V. Characterization of the core microbiome in the rhizosphere of greenhouse vegetables: taxonomic diversity and putative functions // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. e128. DOI: [10.31251/pos.v3i3.128](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.128)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Berendsen R.L., Pieterse C.M., Bakker P.A. The rhizosphere microbiome and plant health // *Trends Plant Sci.* 2012. V.17. No.8. P. 478–486. DOI: [10.1016/j.tplants.2012.04.001](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001)
2. Bier R.L., Bernhardt E.S., Boot C.M., Graham E.B., Hall E.K., Lennon J.T., Nemergut D.R., Osborne B.B., Ruiz-González C., Schimel J.P., Waldrop M.P., Wallenstein M. D. Linking microbial community structure and microbial processes: an empirical and conceptual overview // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2015. V.91. No. 10. fiv113. DOI: [10.1093/femsec/fiv113](https://doi.org/10.1093/femsec/fiv113)
3. Edgar R.C. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads // *Nat Methods.* 2013. V.10. P. 996–998.
4. Edgar R.C. UNOISE2: Improved error-correction for Illumina 16S and ITS amplicon reads // *bioRxiv.* 2016a. DOI: [10.1101/081257](https://doi.org/10.1101/081257)
5. Edgar R. C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences // *bioRxiv.* 2016b. DOI: [10.1101/074161](https://doi.org/10.1101/074161)
6. Fadrosh D.W., Ma B., Gajer P., et al. An improved dual-indexing approach for multiplexed 16S rRNA gene sequencing on the Illumina MiSeq platform // *Microbiome* 2014. V.2. P.1–6. DOI: [10.1186/2049-2618-2-6](https://doi.org/10.1186/2049-2618-2-6)
7. Fang E.F., Froetscher L., Scheibye-Knudsen M., Bohr V.A., Wong J.H., Ng T.B. Emerging Antitumor Activities of the Bitter Melon (*Momordica charantia*) // *Curr. Protein Peptide Sci.* 2019. V.20. No. 3. P.296–301. DOI: [10.2174/1389203719666180622095800](https://doi.org/10.2174/1389203719666180622095800)
8. Floc'h J.B., Hamel C., Lupwayi N., Harker K.N., Hijri M., St-Arnaud M. Bacterial Communities of the Canola Rhizosphere: Network Analysis Reveals a Core Bacterium Shaping Microbial Interactions // *Front Microbiol.* 2020. V. 11. Article 1587. DOI: [10.3389/fmicb.2020.01587](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01587)
9. Fotev Y.V., Syso A.I., Shevchuk O.M. Introduction in Siberia (Russia) of new vegetable species with a high biochemical value // PlantGen2019. Current. Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. Proc. of the Fifth Inter. Sci. Conf. (Novosibirsk, 24-29 June, 2019). Kochetov A., Salina E. (eds.). Novosibirsk, 2019. P.12–14. DOI: [10.18699/ICG-PlantGen2019-01](https://doi.org/10.18699/ICG-PlantGen2019-01)
10. de la Fuente Cantó C., Simonin M., King E., Moulin L., Bennett M.J., Castrillo G., Laplaze L. An extended root phenotype: the rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness // *The Plant J.* 2020. V. 103. Iss. 3. P. 951–964. DOI: [10.1111/tpj.14781](https://doi.org/10.1111/tpj.14781)
11. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica.* 2001. V.4. Iss.1. P.9.
12. Huang H., Chen F., Long R., Huang G. The antioxidant activities in vivo of bitter gourd polysaccharide // *Int. J. Biol. Macromol.* 2020. V.145. P.141–144. DOI: [10.1016/j.jbiomac.2019.12.165](https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2019.12.165)
13. Igolkina A.A., Grekhov G.A., Pershina E.V., et al. Identifying components of mixed and contaminated soil samples by detecting specific signatures of control 16S rRNA libraries. *Ecol. Ind.* 2018. V.94. P. 446–453. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.06.060](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.060)
14. Kumar A., Dubei A. Rhizosphere microbiome: Engineering bacterial competitiveness for enhancing crop production. *J. Adv. Res.* 2020. V. 24. P.337–352. DOI:[10.1016/j.jare.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.04.014)
15. Louca S., Parfrey L.W., Doebeli M. Decoupling function and taxonomy in the global ocean microbiome // *Science.* 2016. V. 353. P.1272–1277. DOI: [10.1126/science.aaf4507](https://doi.org/10.1126/science.aaf4507)
16. Marchesi J.R., Ravel J. The vocabulary of microbiome research: a proposal // *Microbiome.* 2015. V. 3. P. 31. DOI:[10.1186/s40168-015-0094-5](https://doi.org/10.1186/s40168-015-0094-5)
17. Mazzola M. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annu Rev Phytopathol.* 2004. V.42. P.35–59. DOI: [10.1146/annurev.phyto.42.040803.140408](https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140408)
18. Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P. *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface.* CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007.
19. Rovira A.D. Plant root exudates // *Botanical Review.* 1959. V.35. No. 1. P. 35–57.
20. Rovira A.D. Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. IV. Influence of plant species, age of plant, light, temperature, and calcium nutrition on exudation // *Plant and Soil.* 1969. V.11. P. 53–64.
21. Singh R., Kumar A., Singh M., Vandana, Kumar Maurya S., Pandey K.D. Microbial Diversity in the Rhizosphere of *Momordica charantia* L. Bitter Gourd // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2017. V.6. No. 2. P. 67–76. DOI: [10.20546/ijemas.2017.602.009](https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.602.009)
22. Sur S., Ray R.B. Bitter Melon (*Momordica Charantia*), a Nutraceutical Approach for Cancer Prevention and Therapy // *Cancers.* 2020. V.12. No. 8. N. 2064. DOI: [10.3390/cancers12082064](https://doi.org/10.3390/cancers12082064)
23. Tian Y., Gao L. Bacterial Diversity in the Rhizosphere of Cucumbers Grown in Soils Covering a Wide Range of Cucumber Cropping Histories and Environmental Conditions // *Microb. Ecol.* 2014, V.68. P. 794–806. DOI: [10.1007/s00248-014-0461-y](https://doi.org/10.1007/s00248-014-0461-y)
24. Tian L., Lin X., Tian J., Ji L., Chen Y., Tran L. P., Tian C. Research Advances of Beneficial Microbiota Associated with Crop Plants // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. V.21. No. 5. P.1792. DOI: [10.3390/ijms21051792](https://doi.org/10.3390/ijms21051792)
25. Trivedi P., Delgado-Baquerizo M., Trivedi C., Hamonts K., Anderson I.C., Singh B.K. Keystone microbial taxa regulate the invasion of a fungal pathogen in agro-ecosystems // *Soil Biol. Biochem.* 2017. V.111. P10–14.

26. Trivedi P., Schenk P. M., Wallenstein M. D., Singh B. K. Tiny Microbes, Big Yields: enhancing food crop production with biological solutions // *Microb. Biotechnol.* 2017. V.10. No. 5. P.999–1003. DOI: [10.1111/1751-7915.12804](https://doi.org/10.1111/1751-7915.12804)
27. Uren N.C. Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. In book: *The Rhizosphere*. Boca Raton: CRC Press, 2000, p. 35–56.
28. Vishwakarma K., Kumar N., Shandilya C., Mohapatra S., Bhayana S., Varma A. Revisiting Plant–Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review // *Front. Microbiol.* 2020. V. 11, Article 560406. DOI: [10.3389/fmicb.2020.560406](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406)
29. Wang Z., Zhang J., Wu F., Zhou X. Changes in rhizosphere microbial communities in potted cucumber seedlings treated with syringic acid // *PLoS ONE*. 2018. V. 13(6). e0200007. DOI: [10.1371/journal.pone.0200007](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200007)
30. Wang Q., Garrity G.M., Tiedje J.M., Cole J.R. Naïve Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial Taxonomy // *Appl. Environ. Microbiol.* 2007. V.73. P.5261–5267. DOI: [10.1128/AEM.00062-07](https://doi.org/10.1128/AEM.00062-07)
31. Wen T., Yuan J., He X. et al. Enrichment of beneficial cucumber rhizosphere microbes mediated by organic acid secretion // *Hortic. Res.* 2020. V.7. P.154. DOI: [10.1038/s41438-020-00380-3](https://doi.org/10.1038/s41438-020-00380-3)
32. Yu D., Ma Y., Chen M., Dong X. KOH activation of wax gourd-derived carbon materials with high porosity and heteroatom content for aqueous or all-solid-state supercapacitors // *J. Colloid Interface Sci.* 2019. V.537. P.569–578. DOI: [10.1016/j.jcis.2018.11.070](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.11.070)
33. Zhalnina K., Louie K.B., Hao Z., Mansoori N., da Rocha U.N., Shi S., Cho H., Karaoz U., Loqué D., Bowen B.P., Firestone M.K., Northen T.R., Brodie E.L. Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly // *Nat. Microbiol.* 2018. V.3. No.4. P.470–480. DOI: [10.1038/s41564-018-0129-3](https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3)
34. Zhao X., Jiang Y., Liu Q., Yang H., Wang Z., Zhang M. Effects of Drought-Tolerant Ea-DREB2B Transgenic Sugarcane on Bacterial Communities in Soil // *Front Microbiol.* 2020. V.11. Article 704. DOI: [10.3389/fmicb.2020.00704](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00704)
35. Zhou Y., Ma Y., Zeng J., Duan L., Xue X., Wang H., Lin T., Liu Z., Zeng K., Zhong Y., Zhang S., Hu Q., Liu M., Zhang H., Reed J., Moses T., Liu X., Huang P., Qing Z., Liu X., Huang, S. (2016). Convergence and divergence of bitterness biosynthesis and regulation in *Cucurbitaceae* // *Nat. Plants*. V.2. 16183. DOI: [10.1038/nplants.2016.183](https://doi.org/10.1038/nplants.2016.183)
36. Zhou J., Yu L., Zhang J., Zhang X., Xue Y., Liu J., Zou X. Characterization of the core microbiome in tobacco leaves during aging // *MicrobiologyOpen*. 2020. V.9. No.3. e984. DOI: [10.1002/mbo3.984](https://doi.org/10.1002/mbo3.984)
37. Zhu M., Huang R., Wen P., Song Y., He B., Tan J., Hao H., Wang H. Structural characterization and immunological activity of pectin polysaccharide from kiwano (*Cucumis metuliferus*) peels // *Carbohydrate polymers*. 2021. V.254. 117371. DOI: [10.1016/j.carbpol.2020.117371](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117371)

Поступила в редакцию 27.01.2021

Принята 17.02.2021

Опубликована 19.02.2021

#### Сведения о авторах:

**Наумова Наталья Борисовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); [naumova@issa-siberia.ru](mailto:naumova@issa-siberia.ru)

**Савенков Олег Александрович** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); [savenkov@issa-siberia.ru](mailto:savenkov@issa-siberia.ru)

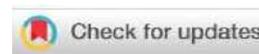
**Аликина Татьяна Юрьевна** – младший научный сотрудник ЦКП «Геномика» ФГБУН Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); [alikina@niboch.nsc.ru](mailto:alikina@niboch.nsc.ru)

**Фотев Юрий Валентинович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции пищевых растений ФГБУН Центральный Сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); [fotev\\_2009@mail.ru](mailto:fotev_2009@mail.ru)

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



## МИСКАНТУС – ПЕРСПЕКТИВНАЯ СЫРЬЕВАЯ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ФИТОМЕЛИОРАТИВНАЯ КУЛЬТУРА (литературный обзор)

© 2020 С. Ю. Капустянчик <sup>1</sup>, В. Н. Якименко<sup>2</sup>

Адрес: <sup>1</sup>Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, ул. С-100, зд. 21, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 630501, Россия. E-mail: [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, просп. Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto:yakimenko@issa-siberia.ru)

В литературном обзоре представлены сведения об одной из перспективных энергетических культур – мискантусе (*Miscanthus* spp.). Приведены данные по систематике, морфологии и фенологии растения, его урожайности и качеству получаемого целлюлозосодержащего сырья. Показана возможность эффективного выращивания многолетних плантаций мискантуса в континентальных регионах России. Рассматриваются результаты исследований средообразующего и фитомелиоративного воздействия посадок мискантуса на агроландшафт. Анализируются работы по изучению возможностей получения из биомассы мискантуса промышленной продукции с высокой добавленной стоимостью.

**Ключевые слова:** энергетические культуры; мискантус; урожайность; качество продукции; фитомелиоративное влияние; промышленная переработка

**Цитирование:** Капустянчик С.Ю., Якименко В.Н. Мискантус – перспективная сырьевая, энергетическая и фитомелиоративная культура (литературный обзор) // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3. № 3. с.126. DOI: 10.31251/pos.v3i3.126

Эффективное и устойчивое развитие мировой экономики предусматривает обязательный и всесторонний учет экологических аспектов. Перманентный рост мирового энергопотребления и ограниченность, в целом, ископаемых источников сырья и энергии, обуславливают необходимость замены имеющихся промышленных технологий на энерго-, природо- и ресурсосберегающие биотехнологии. Серьезной мировой экологической проблемой современности является загрязнение окружающей среды пластиковыми упаковочными материалами и изделиями из синтетических полимеров. Это вызывает острую потребность в разработке и усиленном производстве биоразлагаемых и биосовместимых упаковочных материалов, в том числе из возобновляемых источников сырья, что будет способствовать экологической стабилизации природной среды. В этой связи в ряде стран мира активно развивается особое направление биотехнологии, основанное на получении ценных веществ и продуктов с высокой добавленной стоимостью из растительного сырья – биомассы энергетических культур с интенсивными темпами фотосинтетической деятельности. Биоэнергетические культуры можно разделить на три основные категории: 1) культуры, имеющие повышенное содержание крахмала и сахаров, используемые в производстве топливного этанола; 2) масличные культуры, применяемые в производстве биодизельного топлива; 3) лигноцеллюлозные культуры, идущие на производство высококачественной целлюлозы и технологичной продукции ее переработки, энергии, биогаза и этанола. Растущий интерес к использованию многолетних трав в качестве биоэнергетических и сырьевых культур отмечается во многих странах мира (Lewandowski et al., 2003; Heaton et al., 2008; Zub, Brancourt-Hulmel, 2010; Wilson et al., 2013; Lewandowski et al., 2016).

Одним из наиболее перспективных, в этом отношении, растений является мискантус (*Miscanthus* spp.), обладающий достаточно высоким адаптивным потенциалом. Его надземная целлюлозосодержащая биомасса относится к нетрадиционным возобновляемым источникам сырья и энергии, получение которых не требует значительных капитальных вложений. Проведенные в ряде стран исследования показали, что важной особенностью мискантуса является способность его производственных плантаций произрастать на одном месте более 20 лет без существенного снижения продуктивности, высокая интенсивность которой обусловлена специфической организацией фотосинтетической деятельности растения по C4-типу. Особого внимания заслуживает способность этой культуры длительное время произрастать на низкопродуктивных землях, что обеспечивает более высокую экономическую отдачу использования таких угодий (Nijssen et al., 2012; Clark et al., 2014; Jones et al., 2015; Figala et al., 2015; Lewandowski et al., 2016).

В ряде зарубежных стран мискантус активно используется при производстве целлюлозы, бумаги, этанола, упаковочных материалов и других ценных продуктов (Lewandowski et al., 2003; Heaton et al., 2008; Zub, Brancourt-Hulmel, 2010; Wilson et al., 2013; Lewandowski et al., 2016). Кроме того, в проведенных исследованиях показана перспективность применения мискантуса в качестве биоразлагаемого сорбента для борьбы с загрязнением территорий, в частности тяжелыми металлами, ликвидации разливов нефти и т.д. (Nijsen et al., 2012; Figala et al., 2015; Wang et al., 2020). В работах отечественных авторов (Зинченко, Яшин, 2011; Слынько и др., 2013; Булаткин, 2018; Гущина, Остробородова, 2019; Багмет, Дзюбенко, 2019; Сакович и др., 2020; Капустянчик и др., 2020) также подтверждается перспективность использования мискантуса, прогнозируются области культивирования на территории Российской Федерации, обосновывается настоятельная необходимость совершенствования технологий эффективной переработки этого целлюлозосодержащего растительного сырья, получаемого в специфических региональных условиях, описывается формирование и поддержание генофонда мискантуса в местных условиях (Дорогина и др., 2019).

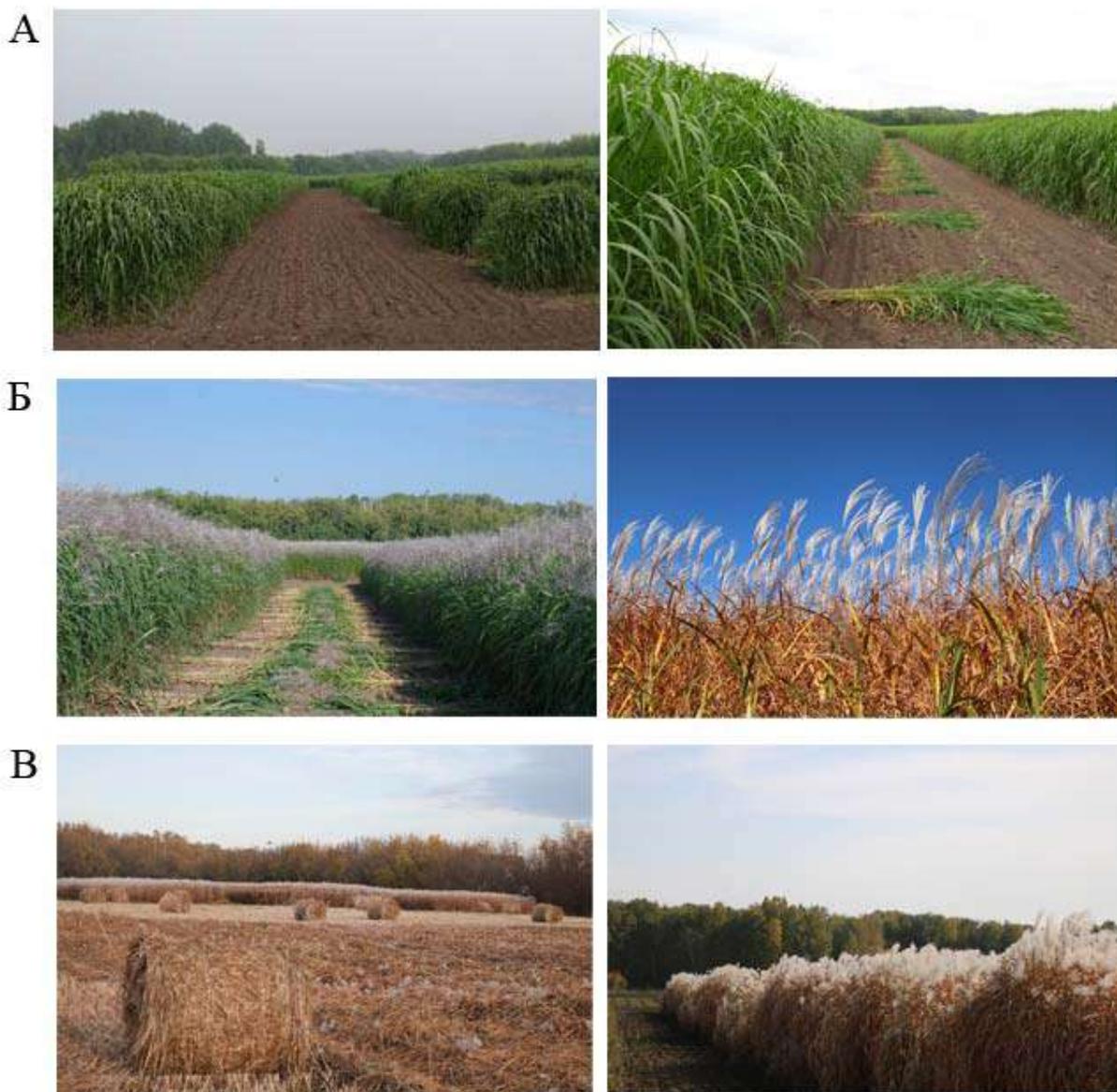
Род Мискантус (*Miscanthus*) принадлежит к подсемейству Просовые (*Panicoideae*) семейства Злаки (*Poaceae*) порядка Злакоцветные (*Poales*). Все представители рода являются многолетними корневищными травами. Разнообразие видов мискантуса довольно велико – насчитывается более 10 видов, растущих в различных условиях – на сухих, влажных, засоленных почвах; на лугах, горных склонах, берегах рек и нарушенных территориях. В качестве биоэнергетического сырья первостепенный интерес представляют три вида: *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* и *M. giganteus*. Ботанические характеристики этих видов имеют некоторые различия. *M. sacchariflorus* относится к длиннокорневищным травам высотой до 2–2,5 м, имеет прямой, жесткий стебель. Листья, длиной до 60 см, характеризуются узкой ланцетно-линейной формой. Абаксиальная поверхность листовой пластины голая, неопушенная, а адаксиальная – опушенная и имеет беловатую заметную середину с цельной формой края. Соцветие, длиной до 25 см, имеет вид веерообразной метелки бледно-фиолетового цвета в начале и бело-серого цвета в конце цветения (рисунок). *M. sinensis* представляет собой кустообразное растение высотой до 1,5 м, имеет компактную и менее разветвленную корневую систему. Листовые пластины похожи на пластины *M. sacchariflorus*, но абаксиальная поверхность опушена. Соцветие имеет окраску от золотистой до темно-фиолетовой. *M. giganteus* является стерильным гибридом, полученным в результате природного скрещивания *M. sacchariflorus* и *M. sinensis*.

Морфологическое строение подземной части растений мискантуса характеризуется мочковатой корневой системой с множеством придаточных корней, узлом кушения и видоизмененным побегом – корневищем. Узел кушения и подземные побеги располагаются на глубине 5–20 см от поверхности почвы. Корни размещаются в слое почвы от нескольких сантиметров до 1,5 м. Корневища обладают округлой или сплюснутой формой. На их поверхности наблюдаются редуцированные листья в виде бесцветных или бурых чешуй, в пазухах которых развиваются боковые почки. При высадке растений отрезками корневищ наблюдается формирование узла кушения, от которого происходит развитие новых подземных побегов с отходящими придаточными корнями. Мискантус использует корневища и корни в качестве хранилища элементов питания и углеводов, что позволяет ему эффективно использовать питательные вещества во время вегетационного периода (Зинченко, Яшин, 2011; Гущина, Остробородова, 2019; Капустянчик и др., 2020).

Растения мискантуса в континентальных условиях в течение вегетационного периода проходят ряд фаз с характерными морфологическими и физиологическими признаками – всходы и развитие листьев, рост междоузлий (удлинение стебля), кушение, выход в трубку, появление соцветий, цветение, старение (рисунок). *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* не считаются стерильными видами, но в условиях Западной Сибири данные виды не производят семян, поэтому стадии развития семян и созревания отсутствуют.

Естественное географическое распространение рода *Miscanthus* приурочено к умеренной и субтропической зонам Юго-Восточной Азии, простираясь на запад до Центральной Индии и на восток до Полинезии; несколько видов обнаружены в Африке, а также на Дальнем Востоке в бореальной зоне (Yanetal, 2012). Растения мискантуса в целом хорошо приспосабливаются к различным местам обитания, способны произрастать на разных высотах, что говорит о значительном адаптивном потенциале рода. Однако триплоид *M. giganteus* является наиболее распространенной формой для выращивания в более южных регионах (Hodkinson et al., 2002). Мискантус имеет фотосинтез C4-типа с высоким уровнем эффективности использования воды,

света и элементов питания, при этом, в отличие от других видов растений С4-типа, некоторые виды мискантуса способны произрастать в относительно холодном климате (Bonin et al., 2014). Повышенная холодоустойчивость отдельных видов мискантуса делает его перспективным кандидатом для возделывания в континентальных регионах России, в том числе в Сибири.



**Рисунок.** Плантации мискантуса (*M. sacchariflorus*) сорта Сорановский при прохождении различных фенофаз в течение вегетационного периода и технологическая операция (уборка) в конце вегетации (Новосибирская обл., Россия).

А – кушение и выход в трубку; Б – цветение и старение; В – уборка надземной биомассы.

Сведения об интродукции мискантуса довольно противоречивы. По одним данным, различные виды мискантуса первоначально были завезены в Европу из Азии в декоративных целях в 1930-х годах, по другим – *M. sacchariflorus* был завезен в Европу в конце 1800-х годов русским ботаником К.И. Максимовичем. Сообщается, что *M. sinensis* присутствовал в США еще до 1900 года и был посажен в усадьбах Балтимора. Есть сведения, что оригинальный гибрид *M. giganteus* возник на юге Японии и затем был привезен в Данию в 1935 году (Hodkinson et al., 2002; Heaton et al., 2008).

Одни из первых упоминаний о роде *Miscanthus* на территории бывшего Советского Союза (Европейская часть) связаны с исследованиями по оценке растений с точки зрения пригодности для использования в кормопроизводстве (Кормовые растения..., 1950); отмечалась перспективность применения биомассы культуры для приготовления силоса и в качестве подножного корма на ранних

стадиях развития. Мискантус также выращивали на берегах засыхающих озёр для очистки воды и спасения озерной флоры и фауны и для борьбы с эрозией почв.

Недавно проведенные исследования кормовых качеств мискантуса (Капустянчик и др., 2017; Капустянчик и др., 2020) показали их снижение в течение вегетационного периода; по мере прохождения фенофаз в надземной биомассе уменьшается количество протеина и жира и увеличивается содержание клетчатки (табл. 1). Содержание в биомассе обменной энергии (ОЭ) 9–10 МДж/кг в начале вегетации также свидетельствует о возможности получения в этот период корма довольно хорошего качества.

Таблица 1

Качество корма и питательность зелёной массы мискантуса 3-го года посадки по фазам вегетации (средние данные)

Фаза вегетации	Влажность, %	Химический состав, % в сух. вещ.				Питательность 1 кг корма	
		протеин	жир	клетчатка	зола	к. е.	ОЭ, МДж/кг
Начало развития листьев (конец мая)	77,4	19,8	2,0	27,1	11,4	0,86	10,17
Рост междоузлий (июнь–июль)	63,9	12,1	2,2	28,9	6,5	0,78	9,27
Выход в трубку (июль–август)	46,3	6,9	1,0	41,5	5,5	0,61	8,51

На территорию Западной Сибири мискантус был завезен в 90-х годах прошлого века с Дальнего Востока сотрудниками Института цитологии и генетики СО РАН. Методами фенотипирования и анализа ДНК новая техническая культура была отнесена к виду *Miscanthus sacchariflorus* (Слынько и др., 2013). В результате популяционно-генетических и селекционных работ был выведен сорт Сорановский, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений (свидетельство № 58540).

В исследованиях, проведенных в различных почвенно-климатических условиях, установлено, что важной особенностью мискантуса является его положительная средообразующая и фитомелиоративная способность, возможность эффективно произрастать на деградированных почвах, заметно улучшая их свойства. В работах ряда авторов показана перспективность выращивания многолетних посадок мискантуса на землях, подверженных эрозии (Venuto, Daniel, 2010) и наводнениям (Barney et al., 2009); на отвалах, образуемых после добычи полезных ископаемых (Marra et al., 2013; Chen et al., 2013); на кислых и засоленных почвах (Krizek et al., 2003; Schmer et al., 2012; Zhuo et al., 2015); почвах, загрязненных тяжелыми металлами (Pidlisnyuk et al., 2014); опесчаненных почвах (DiNasso et al., 2015). Продуктивность биомассы этой культуры на маргинальных землях сильно варьирует (в пределах 1–14 т/га) и зависит от состояния используемых почв, применения удобрений и вида растений (Blanco-Canqui, 2016).

Потенциальная продуктивность мискантуса при благоприятных факторах внешней среды может достигать 40 т сухой массы с 1 га, реальная же зависит от величины прихода фотосинтетической активной радиации (ФАР) и эффективности ее использования, почвенно-гидротермических условий выращивания, продолжительности вегетационного периода и вида растения. По усредненным данным (Lewandowski et al., 2003), урожайность трёхлетних посадок мискантуса в условиях Англии составляла: у *Miscanthus giganteus*– 13,8–18,7 т/га, *M. sacchariflorus* – 11–12, *M. sinensis* – 4,6–10,9 т/га; в Германии, соответственно, 22,8–29,1; 12–13 и 9,1–12,8 т/га, а в Португалии – 34,7–37,8; 35–36 и 16,1–22,4 т/га. Влияние климатических условий региона на урожайность мискантуса также показано в работах ряда отечественных и зарубежных авторов (табл. 2).

Таблица 2

## Урожайность мискантуса в различных регионах мира

Регион	Климат		Вид	Урожай, т/га	Источник
	Средняя $t^{\circ}$ за год, $^{\circ}C$	Осадки, мм в год			
США, New Jersey	11,2	1211	<i>M. giganteus</i>	9,5	Masters et al., 2016; Kalinina et al., 2017
США, Illinois	11,1	1043	<i>M. giganteus</i>	15,6	
США, Nebraska	9,7	704	<i>M. giganteus</i>	27,7	
Испания	13,9	100,3	<i>M. giganteus</i>	17,6	Tubeilen et al., 2016
Франция	11,5	557	<i>M. giganteus</i>	16,9	Dufoss, 2014
Франция	17,8	390	<i>M. giganteus</i>	22	Maughan, 2012
Россия (Европейская часть)	4,5	620	<i>M. sinensis</i>	7,8	Nunn et al., 2017
			<i>M. giganteus</i>	5,7	
			<i>M. sacchariflorus</i>	4,2	
Россия (Западная Сибирь)	1,7	464	<i>M. giganteus</i>	16,6	Данные авторов
			<i>M. sacchariflorus</i>	12	

В длительных опытах, проводимых в лесостепи Западной Сибири (Капустянчик и др., 2020), продуктивность разновозрастных посадок *M. sacchariflorus* варьировала в пределах 10–16 т/га, при среднем значении около 12 т/га. Отмечена холодоустойчивость культуры, ее вегетативное размножение, способность после высадки корневищ уже на 2–3-й год создавать ровную плантацию высотой до 2,5 (см. рис.). В отличие от *M. sacchariflorus*, *M. giganteus* имел большую продуктивность биомассы (16,6 т/га), но ее качество было ниже из-за неполного прохождения фенофаз в вегетационный период: на момент уборки еще не завершалась стадия появления соцветий, убираемая биомасса характеризовалась повышенной влажностью.

Определенную дискуссионность может вызывать вопрос об инвазивности *M. sacchariflorus*. Обильные корневища культуры, активно распространяющиеся в 20-см почвенном слое, некоторые исследователи склонны относить к инвазивному риску (Bonin et al., 2014). Однако известно, что инвазивность свойственна, прежде всего, растениям, размножающимся семенами. В этой связи, по мнению ряда авторов, мискантус не представляет инвазивной угрозы для сельскохозяйственных угодий (Smith, Barney, 2014; Bonin et al., 2017). В континентальных регионах с относительно холодным климатом *M. sacchariflorus* обычно не дает семян, тем самым минимизируя риск инвазивного распространения (Капустянчик и др., 2020).

Одной из особенностей энергетических многолетних трав, в том числе мискантуса, является глубокое и обильное проникновение корней в почвенную толщу, что увеличивает пористость почвы, улучшает ее агрегатный состав и водопрочность агрегатов. Повышенная пористость способствует интенсификации просачивания влаги и, таким образом, уменьшает сток на склоновых землях. Оптимизация агрофизических свойств почвы под воздействием энергетических культур положительно коррелирует с увеличением общей концентрации почвенного органического углерода. Исследования секвестрирования углерода многолетними энергетическими культурами показали их способность связывать углерод (от 0,25 до 4 т/га в год почвенного C) и улучшать при этом агрофизические свойства почвы, увеличивать микробную биомассу и ее активность (Blanco-Canqui et al., 2014).

В проведенных исследованиях установлено, что многолетние энергетические травы требуют относительно низкого почвенного уровня питательных веществ по сравнению с однолетними культурами, обладают высокой продуктивностью на низкоплодородных землях и способностью длительного бессменного произрастания на плантациях. В Европе, Азии и Америке среди всего разнообразия многолетних трав выделяется наиболее перспективный представитель данной группы растений – род *Miscanthus* (Lewandowski et al., 2003; Heaton et al., 2008; Zub, Brancourt-Hulmel, 2010). В условиях Западной Сибири учеными ИЦиГ СО РАН проводится изучение различных дикорастущих и культурных энергетических растений, в том числе из семейства злаковых. Например, канареечник тростниковидный (*Phalaroides arundinaceae* Raush.) имеет урожай зеленой массы 30–35 т/га, содержание целлюлозы 44,2 % (абс.-сух. сырья), высоту побегов 220 см; овсяница тростниковидная (*Festuka arundinaceae* Schreb.) – урожай зеленой массы 39–45 т/га, содержание целлюлозы 40 % (абс.-сух. сырья), высоту побегов 158 см; ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – урожай зеленой массы 33–38 т/га, содержание целлюлозы 55,4 % (абс.-сух. сырья), высоту побегов 150 см. Однако по комплексу биологических, хозяйственных и биохимических показателей мискантус является наиболее предпочтительным (Капустянчик и др., 2020).

Одним из достоинств мискантуса является обеспечение его посадками положительного энергетического баланса и профицитного баланса гумуса. По данным В.А. Зинченко и М. Яшина (2011), урожай надземной биомассы этой культуры в 20 т/га может обеспечить столько же энергии, сколько производится из 12 т угля. При выращивании мискантуса уже на 5-й год в почве плантаций наблюдается увеличение (на 0,1–0,2 %) содержания гумуса (Зинченко, Яшин, 2011). Показано, что при выращивании мискантуса в течение 10 лет на почвах легкого гранулометрического состава содержание гумуса в почве возросло на 0,3–0,4 %, несмотря на интенсивное использование растениями почвенного мобильного азота, генерируемого соответствующими минерализационными процессами (Капустянчик и др., 2020).

Исследования, проведенные за рубежом в посадках мискантуса, свидетельствуют, что запасы углерода в почве под этой культурой увеличиваются на 2 т/га в год (Robertson et al., 2017). В период формирования многолетних посадок мискантуса (4 года) в условиях Западной Сибири была проведена оценка компонентов баланса углерода, которая показала наличие объективных предпосылок для закрепления углерода атмосферы в устойчивых фракциях почвенного органического вещества (Капустянчик и др., 2021). В работе С.Ю. Капустянчик с соавторами (2020) установлено достоверное накопление углерода в верхнем слое почвы под многолетними посадками мискантуса и, кроме того, тенденция увеличения содержания зольных элементов, связанного, вероятно, как с их биогенной аккумуляцией, так и с повышением степени подвижности почвенных форм элементов.

С.Ю. Капустянчик с соавторами (2020) определили, что ежегодный вынос мискантусом элементов питания из почвенных запасов при средней урожайности 12 т/га составляет: азота – 17–20 кг/га, фосфора – 11–17, калия – 35–40, магния – 2–3 кг/га. По сравнению с другими урожайными культурами, такие масштабы отчуждения питательных элементов из почвы представляются невысокими. Низкую потребность мискантуса в почвенных запасах элементов питания отмечали и другие авторы (Lewandowski et al., 2003; Nijssen et al., 2012; Jones et al., 2015).

По данным некоторых исследователей (Himken et al., 1997; Lewandowski, Kicherer, 1997) применение удобрений под мискантус целесообразно только в первые 1–2 года формирования плантации на почвах с очень низким содержанием NPK. Слабая отзывчивость этой культуры на внесение удобрений во многом связана с ее способностью к эффективной реутилизации питательных элементов. В конце вегетации из побегов в корневища перемещается примерно 50 % поглощенного азота и фосфора и 30 % калия и магния. Весной эти резервы мобилизуются для роста новых побегов, делая мискантус в определенной степени независимым от уровня почвенного плодородия.

В целом можно сказать, что исследования, проведенные в различных странах мира в разных почвенно-климатических условиях, установили положительные средообразующие возможности мискантуса, его очевидный фитомелиоративный и адаптивный потенциал. Выявлена способность растений рода *Miscanthus* поддерживать высокий уровень фотосинтеза C4-типа при низких температурах (Lewandowski et al., 2000; Naidu et al., 2003; Heaton et al., 2008), показаны невысокие потребности в питательных веществах, способность связывать большое количество углерода, хорошая эффективность использования имеющейся влаги, высокая продукция биомассы (Clifton-Brown, Lewandowski, 2000; Lewandowski et al., 2003; Foereid et al., 2004), а также повышенная устойчивость к болезням и вредителям (Зинченко, Яшин, 2011).

Таким образом, результаты длительных исследований (Капустянчик и др., 2020; и др.) свидетельствуют, что культивирование плантаций мискантуса способствует решению ряда значимых экологических вопросов: создает культурный агроландшафт, рациональный в определенных почвенно-климатических условиях; обеспечивает получение устойчивого урожая качественной растениеводческой продукции, что повышает эффективность использования низко плодородных земель; улучшает гумусное состояние и стабилизирует фонд подвижных форм зольных элементов почвы, тем самым препятствуя нарастающему истощению ее плодородия и деградации.

Химический анализ надземной биомассы мискантуса (табл. 3) (Будаева и др. 2015) подтверждает его ценность как источника энергии и сырья для переработки в продукцию с высокой добавленной стоимостью (Слынько и др., 2013; Гисматулина и др., 2015; Сакович и др., 2020). Высокое содержание целлюлозы (до 51 %) при относительно низком уровне лигнина (до 20 %) и жировосковой фракции (0,9 %) характеризует мискантус как перспективную урожайную сырьевую культуру со значительным экономическим потенциалом возделывания и переработки. Показано, что отличия в содержании органических соединений в биомассе в зависимости от вида культуры невелики (табл. 3).

Таблица 3

Содержание соединений в надземной биомассе мискантуса, % от абс.-сух. вещества

Вид	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Зольность	Жировосковая фракция
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	50,65±1,0	16,98±0,5	24,90±0,5	2,37±0,1	0,70±0,5
<i>M. sinensis</i>	50,92±1,0	20,70±0,5	24,72±0,5	2,19±0,1	0,85±0,5
<i>M. giganteus</i>	46,72±1,0	18,50±0,5	17,85±0,5	3,12±0,1	1,12±0,5

Одним из перспективных направлений использования мискантуса на сегодняшний день является целлюлозно-бумажная промышленность. Эффективная возможность получения отдельных сортов бумаги из биомассы мискантуса показана в ряде работ (Hurter, 2014; Будаева и др. 2015; Гисматулина и др., 2015). В таблице 4 приведены характеристики бумаги, произведенной из *M. sacchariflorus* сорта Сорановский, выращенного в Западной Сибири (Гисматулина и др., 2015).

Таблица 4

Показатели качества бумаги, полученной из мискантуса сорта Сорановский

Показатель качества	Значение
Средняя толщина образца, мкм	96,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,827
Разрывная длина, м	3200
Сопротивление продавливанию, кПа	68
Сопротивление раздиранию, мН	130
Жесткость при растяжении, кН/м	410
Работа разрушения, Дж/м <sup>2</sup>	10,79
Разрушающее напряжение, Мпа	26,51
Разрушающая деформация, %	0,76

В проведенных российскими учеными исследованиях установлена возможность получения из биомассы мискантуса качественной целлюлозы, в том числе нанокристаллической, используемой для изготовления различной высокотехнологичной продукции (Слынько и др., 2013; Gismatulina et al., 2015; Budaeva et al., 2016; Сакович и др., 2020). Достоверно показано, что из мискантуса можно получить целлюлозу как для последующего синтеза простых и сложных эфиров, так и для выработки особых видов бумаги.

С применением отечественных ферментов, дрожжей, микробиологических консорциумов и штаммов из мискантуса получены глюкозные гидролизаты, биоэтанол (топливный и в качестве прекурсора для химических продуктов), бактериальная целлюлоза и молочная кислота. Мискантус может эффективно использоваться в производстве одноразовой биоразлагаемой посуды, биобетона, композитных материалов, биотоплива и др.

Производство биоэтанола, являющегося приоритетным биотопливом, получило широкое развитие в ряде зарубежных стран (Lewandowski et al., 2003; Heaton et al., 2008; Nunn et al., 2017). Оно основано на использовании быстровозобновляемого целлюлозосодержащего сырья, к которому, в том числе, относится и мискантус. Проведенные исследования (Baibakova, Skiba, 2015; Юрина, 2015) характеризуют получаемую из мискантуса продукцию как спирт высокого качества, предназначенный для непищевого использования; установлено, что в производимом из мискантуса биоэтаноле доля метанола очень мала, невысоко и содержание сивушных масел и эфиров.

Таким образом, анализ научных работ, выполненных в разных странах мира, свидетельствует о большой перспективности возделывания мискантуса как сырьевой и энергетической культуры с возможностями широкого использования в различных отраслях экономики, способной формировать продуктивные многолетние плантации на низкоплодородных почвах и в регионах с континентальным климатом, в том числе в Сибири.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках бюджетных проектов Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиала ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН № 0259-2021-0018 и Института почвоведения и агрохимии СО РАН № АААА-А17-117030110078-1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багмет Л.В., Дзюбенко Е.А. Прогнозирование областей культивирования *Miscanthus sacchariflorus* (Роасеае) на территории Российской Федерации // *Vavilova*. 2019. Т.2 №4. С. 35–49. DOI: [10.30901/2658-3860-2019-4-35-49](https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-4-35-49)
2. Будаева В.В., Севастьянова Ю.И., Гисматулина Ю.А. и др. Особенности бумагообразующих свойств целлюлозы мискантуса // *Ползуновский вестник*. 2015. Т.1. № 4. С. 78–82.
3. Булаткин Г.А. Исследование эффективности энергетических культур на примере мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* Anderss.) // *Экологический вестник России*. 2018, № 10. С. 36–41.
4. Гисматулина Ю.А., Севастьянова Ю.В., Будаева В.В., Золотухин В.Н. Структурно-размерные характеристики целлюлозы из мискантуса // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2. С. 3523–3526.
5. Гущина В.А., Остробородова Н.И. Формирование биомассы мискантуса гигантского в лесостепи Среднего Поволжья // *Нива Поволжья*. 2019. № 3 (52). С. 81–87.
6. Дорогина О.В., Васильева О.Ю., Нурдина Н.С. и др. Формирование и изучение коллекционного генофонда ресурсных видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях лесостепи Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019. Т. 23. №7. С. 926–932. DOI : [10.18699/VJ19.568](https://doi.org/10.18699/VJ19.568)
7. Зинченко В.А., Яшин М. Энергия мискантуса // *Леспромформ*. 2011. № 6 (80). С. 134–140.
8. Капустянчик С.Ю., Поцелуев О.М., Ломова Т.Г., Бакшаев Д.Ю. *Продуктивность и питательная ценность мискантуса сорта «Сорановский»* // Почвы России: вчера, сегодня, завтра: сборник статей. Сборник статей по материалам Всероссийской с международным участием научной конференции, посвящённой Году экологии и 90-летию со дня рождения профессора В. В. Тюлина. Отв. за вып. А. М. Прокашев. 2017Киров: Изд-во ВятГУ, 2017. С. 84–90.
9. Капустянчик С.Ю., Бурмакина Н.В., Якименко В.Н. Оценка эколого-агрохимического состояния агроценоза с многолетним выращиванием мискантуса в Западной Сибири // *Агрохимия*. 2020. № 9. С. 65–73. DOI: [10.31857/S0002188120090082](https://doi.org/10.31857/S0002188120090082)
10. Капустянчик С.Ю., Данилова А.А., Лихенко И.Е. *Miscanthus sacchariflorus* в Сибири. Параметры продукционного процесса, динамика биофильных элементов // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. № 1. С. 25–33. (в печати)
11. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР // Под ред. И.В. Ларина. Т. 1. Спорные, голоосеменные и однодольные. Ленинград, 1950. 315 с.
12. Сакович Г.В., Скиба Е.А., Гладышева Е.К., Голубев Д.С., Будаева В.В. Мискантус – сырье для производства бактериальной наноцеллюлозы // *Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах*. 2020. Т. 495. С. 35–38. DOI: [10.31857/S2686953520060138](https://doi.org/10.31857/S2686953520060138)
13. Слынько Н.М., Горячковская Т.Н., Шеховцов С.В. и др. Биотехнологический потенциал новой технической культуры – Мискантус сорт Сорановский // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013. Т.17. №4/1. С. 765–771.

14. Юрина Г.Ф. Обзор инноваций в технологии биоэтанола // *Биотехнология и общество в XXI веке: Сборник статей Международной научно-практической конференции (Барнаул, 2015, 15-18 сентября)* / Под ред.: А.А. Ильичев. Барнаул: АлтГУ. 2015. С. 304–307
15. Baibakova O.V., Skiba E.A. Biotechnological aspects of ethanol biosynthesis from *Miscanthus* // *Russ J Genet Appl Res.* 2015. V. 5, No. 1. P. 69–74. DOI: [10.1134/S2079059715010025](https://doi.org/10.1134/S2079059715010025)
16. Barney J.N., Mann J.J., Kyser G.B. et al. Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: ecological implications // *Plant Sci.* 2009. V. 177. Is. 6. P. 724–732. DOI: [10.1016/j.plantsci.2009.09.003](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.09.003)
17. Blanco-Canqui H., Gilley J., Eisenhauer D., Boldt A. Soil carbon accumulation under switchgrass barriers // *Agron. J.* 2014. V. 106. Is. 6. P. 2185–2192. DOI: [10.2134/agronj14.0227](https://doi.org/10.2134/agronj14.0227)
18. Bonin C. L., Heaton E. A., Barb J. *Miscanthus sacchariflorus* – biofuel parent or new weed? // *Global Change Biology Bioenergy.* 2014. Vol. 6. Is.6. P. 629–636. DOI: [10.1111/gcbb.12098](https://doi.org/10.1111/gcbb.12098)
19. Bonin C.L., Mutegi E., Chang H., Heaton E.A. Improved feedstock option or invasive risk? Comparing establishment and productivity of fertile *Miscanthus giganteus* to *Miscanthus sinensis* // *Bioenergy Research* 2017. V. 10. P. 317–328. DOI: [10.1007/s12155-016-9808-1](https://doi.org/10.1007/s12155-016-9808-1)
20. Budaeva V.V., Makarova E.I., Gismatulina Yu.A. Integrated flowsheet for conversion of non-woody biomass into polyfunctional materials // *Key Engineering Materials.* 2016. V. 670. P. 202–206. DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.670](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.670)
21. Chen L.M., Stehouwer R., Wu M.L. et al. Minesoil response to reclamation by using a flue gas desulfurization product // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2013. V. 77. Is.5. P. 1744–1754. DOI: [10.2136/sssaj2013.02.0054](https://doi.org/10.2136/sssaj2013.02.0054)
22. Clark L.V., Brummer J.E., Glowacka K. et al. A footprint of past climate change on the diversity and population structure of *Miscanthus sinensis* // *Annals of Botany.* 2014. V. 114. Is.1. P. 97–107. DOI: [10.1093/aob/mcu084](https://doi.org/10.1093/aob/mcu084)
23. Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply // *Annals of Botany.* 2000. V. 86. Is.1. P. 191–200. DOI: [10.1006/anbo.2000.1183](https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1183)
24. Di Nasso N.N.O., Lasorella M.V., Roncucci N., Bonari E. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean // *Ind. Crops Prod.* 2015. V. 65. P. 21–26. DOI: [10.1016/j.indcrop.2014.11.017](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.017)
25. Dufoss K., Drewerc J., Gabrielle B., Droueta J.-L. Effects of a 20-year old *Miscanthus × giganteus* stand and its removal on soil characteristics and greenhouse gas emissions // *Biomass and bioenergy.* 2014. V.69. P. 198–210. DOI: [10.1016/j.biombioe.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.003)
26. Figala J., Vranová V., Rejšek K., Formánek P. Giant miscanthus (*Miscanthus × Giganteus* Greef et Deu.) - A promising plant for soil remediation: A Mini Review // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2015. V. 63. Is.6. P. 2241–2246. DOI: [10.11118/actaun201563062241](https://doi.org/10.11118/actaun201563062241)
27. Foeroid B., Neergaard A., Henning H.J. Turnover of organic matter in a *Miscanthus* field: Effect of time in *Miscanthus* cultivation and inorganic nitrogen supply // *Soil Biology and Biochemistry.* 2004. V. 36. Is. 7. P. 1075–1085. DOI: [10.1016/j.soilbio.2004.03.002](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.03.002)
28. Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Veprev S.G., Sakovich G.V., Shumny V.K. Cellulose from various parts of *Soranovskii Miscanthus* // *Russ J Genet Appl Res.* 2015. V. 5, No. 1. P. 60–68. DOI: [10.1134/S2079059715010049](https://doi.org/10.1134/S2079059715010049)
29. Blanco-Canqui H. Growing dedicated energy crops on marginal lands and ecosystem services // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2016. V. 80. Is.4. P. 845–858. DOI: [10.2136/sssaj2016.03.0080](https://doi.org/10.2136/sssaj2016.03.0080)
30. Heaton E.A., Flavell R.B., Mascia P.N. et al. Herbaceous energy crop development: recent progress and future prospects // *Current Opinion in Biotechnology.* 2008. V.19. Is.3. P. 202–209. DOI: [10.1016/j.copbio.2008.05.001](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.05.001)
31. Himken M, Lammel J, Neukirchen D. et al. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization // *Plant and Soil.* 1997. V.189. P.117–126. DOI: [10.1023/A:1004244614537](https://doi.org/10.1023/A:1004244614537)
32. Hodkinson, T.R., Chase M.W., Takahashi C. et al. The use of dna sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae) // *American J. of Botany.* 2002. V. 89, № 2. P. 279–286. DOI: [10.3732/ajb.89.2.279](https://doi.org/10.3732/ajb.89.2.279)
33. Hurter B. Nonwood fibers offer potential opportunity for papermakers // *TAPPI J.* 2014. V. 13. № 6. P. 5–6.
34. Jones M.B., Finnan J., Hodkinson T.R. Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land // *Global Change Biology Bioenergy.* 2015. Vol.7. Is.2 P. 375–385. DOI: [10.1111/gcbb.12203](https://doi.org/10.1111/gcbb.12203)
35. Kalinina O., Nunn C., Sanderson R. et al. Extending *Miscanthus* cultivation with novel germplasm at six contrasting sites // *Front. Plant Sci.* 2017. V.8. P.563. DOI: [10.3389/fpls.2017.00563](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00563)
36. Krizek D.T., Ritchie J.C., Sadeghi A.M. et al. A four-year study of biomass production of eastern gamagrass grown on an acid compact soil // *Soil Sci. Plant Anal.* 2003. V. 34. P. 457–480. DOI: [10.1081/CSS-120017832](https://doi.org/10.1081/CSS-120017832)
37. Lewandowski I., Kicherer A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus* // *Eur. J. of Agron.* 1997. V.6. Is.3-4. P. 163–177. DOI: [10.1016/S1161-0301\(96\)02044-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02044-8)

38. Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop // *Biomass and Bioenergy*. 2000. V.19. Is.4. P. 209–227. DOI: [10.1016/S0961-9534\(00\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00032-5)
39. Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Andersson B. et al. Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes // *Agr. J.* 2003. V.95. Is.5. P.1274–1280. DOI: [10.2134/agronj2003.1274](https://doi.org/10.2134/agronj2003.1274)
40. Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Myrsini C. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // *Biomass and Bioenergy*. 2003. V.25. Is.4. P. 335–361. DOI: [10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8)
41. Lewandowski I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M. et al. Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: results of the EU FP7 project OPTIMISC // *Front. Plant Sci.* 2016. V.7. P. 1–23. DOI: [10.3389/fpls.2016.01620](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620)
42. Marra M., Keene T., Skousen J., Griggs T. Switchgrass yield on reclaimed surface mines for bioenergy production // *J. Environ.* 2013. V.42. Is.3. P. 696–703. DOI: [10.2134/jeq2012.0453](https://doi.org/10.2134/jeq2012.0453)
43. Masters M.D., Black C.K., Kantola I.B. et al. Soil nutrient removal by four potential bioenergy crops: *Zea mays*, *Panicum virgatum*, *Miscanthus* × *giganteus* and prairie // *Agric Ecosyst Environ.* 2016. V. 216. P. 51–60. DOI: [10.1016/j.agee.2015.09.016](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.016)
44. Maughan M. *Miscanthus* × *giganteus* productivity: the effects of management in different environments // *Global Change Biology Bioenergy*. 2012. V.4. Is.3. P. 253–265. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01144.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01144.x)
45. Naidu S.L., Moose S.P., Al-Shoaibi A.K. et al. Gold tolerance in *Miscanthus* × *giganteus*: adaptation in amounts and sequence of C4 photosynthetic enzymes // *Plant Physiology*. 2003. V. 132. P. 1688–1697.
46. Nijssen M., Smeets E., Stehfest E. et al. An evaluation of the global potential of bioenergy production on degraded lands // *Global Change Biology Bioenergy*. 2012. No4. Is. 2. P. 130–147. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01121.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01121.x)
47. Nunn C., Hastings A., Kalinina O. et al. Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse *Miscanthus* germplasm grown in six countries // *Front. Plant Sci.* 2017. No8. P.1–14. DOI: [10.3389/fpls.2017.00907](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00907)
48. Pidlisnyuk V., Erickson L., Kharchenko S., Stefanovska T. Sustainable land management: growing miscanthus in soils contaminated with heavy metals // *J. Environ. Prot.* 2014. V.5. No8. P. 723–730. DOI: [10.4236/jep.2014.58073](https://doi.org/10.4236/jep.2014.58073)
49. Robertson A.D., Davies Ch. A., Smith P. et al. Carbon inputs from *Miscanthus* displace older soil organic carbon without inducing priming // *Bioenerg. Res.* 2017. V. 10. P. 86–102. DOI: [10.1007/s12155-016-9772-9](https://doi.org/10.1007/s12155-016-9772-9)
50. Schmer M.R., Xue Q., Hendrickson J.R. Salinity effects on perennial, warm-season (C4) grass germination adapted to the northern Great Plains // *Can. J. Plant Sci.* 2012. V. 92. No5. P. 873–881. DOI: [10.4141/cjps2012-001](https://doi.org/10.4141/cjps2012-001)
51. Smith L.L., Barney J.N. The relative risk of invasion: Evaluation of *Miscanthus* × *giganteus* seed establishment // *Invasive Plant Science and Management*. 2014. V.7. No1. P. 93–106. DOI: [10.1614/IPSM-D-13-00051.1](https://doi.org/10.1614/IPSM-D-13-00051.1)
52. Tubeifen F., Rennie T.J., Goss M.J. A review on biomass production from C4 grasses: yield and quality for end-use // *Current Opinion in Plant Biology*. 2016. V. 31. P. 172–180. DOI: [10.1016/j.pbi.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.05.001)
53. Venuto B.C., Daniel J.A. Biomass feedstock harvest from Conservation Reserve Program land in northwestern Oklahoma // *Crop Sci.* 2010. V. 50. Is.2. P. 737–743. DOI: [10.2135/cropsci2009.11.0641a](https://doi.org/10.2135/cropsci2009.11.0641a)
54. Wang C., Kong Y., Hu R., Zhou G. *Miscanthus*: a fast-growing crop for environmental remediation and biofuel production // *Global Change Biology Bioenergy*. 2020. V. 13. Is.1. P.1–12. DOI: [10.1111/gcbb.12761](https://doi.org/10.1111/gcbb.12761)
55. Wilson D.M., Dalluge D.L., Rover M. et al. Crop management impacts biofuel quality: influence of switchgrass harvest time on yield, nitrogen and ash of fast pyrolysis products // *Bioenerg. Res.* 2013. V. 6. P. 103–113. DOI: [10.1007/s12155-012-9240-0](https://doi.org/10.1007/s12155-012-9240-0)
56. Yan J., Chen W., Luo F. et al. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication // *GGB Bioenergy*. 2012. V.4. Is.1. P. 49–60. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01108.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01108.x)
57. Zhuo Y., Zhang Y.F., Xie G.H., Xiong S.J. Effects of salt stress on biomass and ash composition of switchgrass (*Panicum virgatum*) // *Acta Agric. Scand. Sect.* 2015. V.65. P.300–309. DOI: [10.1080/09064710.2015.1006670](https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1006670)
58. Zub H.W., Brancourt-Hulmel M. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review // *Agronomy for sustainable development*. 2010. V.30. P. 201–214. DOI: [10.1051/agro/2009034](https://doi.org/10.1051/agro/2009034)

Поступила в редакцию 01.01.2021

Принята 02.02.2021

Опубликована 19.02.2021

#### Сведения об авторах:

**Капустянчик Светлана Юрьевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник сектора интродукции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиал «ФИЦ

Институт цитологии и генетики СО РАН», 630501 (Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск); kapustyanchik@bionet.nsc.ru

**Якименко Владимир Николаевич** – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090 (Россия, г. Новосибирск); yakimenko@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## MISCANTHUS IS A PROMISING RAW MATERIAL, ENERGY AND PHYTOMELIORATIVE CROP (literature review)

© 2020 S.Yu. Kapustyanchik <sup>1</sup>, V.N. Yakimenko<sup>2</sup>

Address: <sup>1</sup> Siberian Research Institute for Plant Industry and Breeding, Branch of the Federal Research Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia. E-mail: [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru);

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto:yakimenko@issa-siberia.ru)

*The literature review provides information about one of the most promising energy crops – miscanthus (Miscanthus spp.). Data on the systematics, morphology and phonology of the plant, its yield and the quality of the resulting cellulose-containing raw materials are presented. The possibility of effective cultivation of perennial miscanthus plantations in continental regions, including Russia, is shown. The results of studies of the environmental and phytomeliorative effects of miscanthus plantings on the agricultural landscape are considered. The work on studying the possibilities of obtaining industrial products with high added value from miscanthus biomass is analyzed.*

**Key words:** energy crops; miscanthus; yield; product quality; phytomeliorative effect; industrial processing

**How to cite:** Kapustyanchik S.Yu., Yakimenko V.N. Miscanthus is promising raw material, energy and phytomeliorative crop // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(3). e126. DOI: [10.31251/pos.v3i3.126](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126) (in Russian with English abstract).

### REFERENCES

1. Bagmet L. V., Dzyubenko E. A. Prediction of the potential cultivation areas of *Miscanthus sacchariflorus* in the Russian Federation, *Vavilovia*. 2019; V.2, No4, p.35-49. (in Russian) DOI: [10.30901/2658-3860-2019-4-35-49](https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-4-35-49)
2. Budaeva V.V., Sevastyanova Yu.I., Gismatulina Yu.A. et al. Features of paper-forming properties of miscanthus cellulose, *Polzunovskii vestnik*, 2015, Vol. 1, No.4, p. 78-82. (in Russian)
3. Bulatkin G.A. Investigation of the efficiency of energy crops on the example of Chinese Miscanthus (*Miscanthus sinensis* Anderss.), *Ekologicheskii vestnik Rossii*, 2018, No. 10, p. 36-41. (in Russian)
4. Gismatulina Yu.A., Sevastyanova Yu.V., Budaeva V.V., Zolotukhin V.N. Structural-dimensional characteristics of Miscanthus pulp, *Materials Sc.*, 2015 No. 2, p. 3523-3526. (in Russian)
5. Gushchina V.A., Ostroborodova N.I. Formation of giant miscanthus biomass in the forest-steppe of the middle Volga Region, *Volga Region Farmland*, 2019, No.3 (52), p. 81-87. (in Russian)
6. Dorogina O.V., Vasilyeva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Zhmud E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Kuban I.S., Gusar A.S., Dudkin R.V. The formation and the study of a collection of the miscanthus resource species gene pool in the conditions of the West Siberian forest steppe, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, V.23 No7, p. 923-932. DOI: [10.18699/VJ19.568](https://doi.org/10.18699/VJ19.568)
7. Zinchenko V. A., Yashin M. Miscanthus energy, *LesPromInform*, 2011, 6 (80), p. 134 -140. (in Russian)
8. Kapustyanchik S.Yu., Potseluev O.M., Lomova T.G., Bakshaev Yu.D. Productivity and nutritive value of miscanthus varieties "Soranskii" In book: Soil of Russia: yesterday, today, tomorrow: A collection of articles based on the materials of the Rus. Sc. Conf. with Inter. participation dedicated to the Year of Ecology and the 90<sup>th</sup> anniversary of the birth of Professor V.V. Tyulin. Kirov: VyatGU Publishing House, 2017, p. 84-90. (in Russian)
9. Kapustyanchik S.Yu., Burmakina N.V., Yakimenko V.N. Evaluation of the ecological and agrochemical state of agrocenosis with long-term growing of Miscanthus in Western Siberia, *Agrohimia*, 2020, No. 9, p. 65-73. (in Russian) DOI: [10.31857/S0002188120090082](https://doi.org/10.31857/S0002188120090082)
10. Kapustyanchik S.Yu., Danilova A.A., Likhnenko I.E. Miscanthus acchariflorus in Siberia. Parameters of the production process, dynamics of biophilic elements // *Agricultural Biology*, 2021, No.1, p.25-33. (in print) (in Russian)

11. Fodder plants of hayfields and pastures of the USSR // Ed. Larin I.V., Vol. 1. Spores, gymnosperms and monocots. Leningrad, 1950. 315 p. (in Russian)
12. Sakovich G.V., Skiba E.A., Gladysheva E.K., Golubev D.S., Budaeva V.V. Miscanthus is the feedstock for bacterialnanocellulose production, *Doklady Rossijskoj Akademii Nauk. Himiya, Nauki o Materialah*, 2020, V.495, p.35-38. (in Russian) DOI: [10.31857/S2686953520060138](https://doi.org/10.31857/S2686953520060138)
13. Slynko N.M., Goryachkovskaya T.N., Shekhovtsov S.V., etc. The biotechnological potential of the new crop, Miscanthus CV. Soranovskii, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2013. V.17, No4/1, p. 765-771. (in Russian)
14. Yurina F.G. Overview of innovations in the technology of bioethanol production In book: Biotechnology and society in the XXI century: Proc. of the Inter. Sc. and Practic. Conf. (Barnaul 2015, 15-18 September) / Il'ichev A.A. (ed.). Barnaul: ASU Publ., 2015, p. 304-307. (in Russian)
15. Baibakova O.V., Skiba E.A. Biotechnological Aspects of Ethanol Biosynthesis from Miscanthus, *Russ J Genet Appl Res*, 2015, V. 5, No. 1, p. 69-74. DOI: [10.1134/S2079059715010025](https://doi.org/10.1134/S2079059715010025)
16. Barney J.N., Mann J.J., Kyser G.B. et al. Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications, *Plant Sci.*, 2009, V. 177, Is. 6, p. 724–732. DOI: [10.1016/j.plantsci.2009.09.003](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.09.003)
17. Blanco-Canqui H., Gilley J., Eisenhauer D., Boldt A. Soil carbon accumulation under switchgrass barriers, *Agron. J.*, 2014, V. 106, Is.6, p. 2185–2192. DOI: [10.2134/agronj14.0227](https://doi.org/10.2134/agronj14.0227)
18. Bonin C. L., Heaton E. A., Barb J. Miscanthus sacchariflorus – biofuel parent or new weed?, *Global Change Biology Bioenergy*, 2014, Vol. 6, Is.6, p. 629-636. DOI: [10.1111/gcbb.12098](https://doi.org/10.1111/gcbb.12098)
19. Bonin C.L., Mutege E., Chang H., Heaton E.A. Improved feedstock option or invasive risk? Comparing establishment and productivity of fertile miscanthusgiganteus to miscanthussinensis, *Bioenergy Research*, 2017, V. 10, p. 317-328. DOI: [10.1007/s12155-016-9808-1](https://doi.org/10.1007/s12155-016-9808-1)
20. Budaeva V.V., Makarova E.I., Gismatulina Yu.A. Integrated Flowsheet for Conversion of Non-woody Biomass into Polyfunctional Materials, *Key Engineering Materials*, 2016, V.670, p. 202-206. DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.670](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.670)
21. Chen L.M., Stehouwer R., Wu M.L. et al. Minesoil response to reclamation by using a flue gas desulfurization product, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2013. V.77, Is.5, p. 1744–1754. DOI: [10.2136/sssaj2013.02.0054](https://doi.org/10.2136/sssaj2013.02.0054)
22. Clark L.V., Brummer J.E., Glowacka K. et al. A footprint of past climate change on the diversity and population structure of Miscanthus sinensis, *Annals of Botany*, 2014, V. 114, Is.1, p. 97–107. DOI: [10.1093/aob/mcu084](https://doi.org/10.1093/aob/mcu084)
23. Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different Miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply, *Annals of Botany*, 2000, V. 86, Is.1, p. 191 -200. DOI: [10.1006/anbo.2000.1183](https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1183)
24. Di Nasso N.N.O., Lasorella M.V., Roncucci N., Bonari E. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean // *Ind. Crops Prod*, 2015, V.65, p. 21–26. DOI: [10.1016/j.indcrop.2014.11.017](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.017)
25. Dufoss K., Drewerc J., Gabrielle B., Droueta J.-L. Effects of a 20-year old *Miscanthus* × *giganteus* stand and its removal on soil characteristics and greenhouse gas emissions, *Biomass and bioenergy*, 2014, V.69, p. 198–210. DOI: [10.1016/j.biombioe.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.003)
26. Figala J., Vranová V., Rejšek K., Formánek P. Giant miscanthus (*Miscanthus* × *Giganteus* Greef et Deu.) - A promising plant for soil remediation: A Mini Review, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2015, V. 63, Is.6, p. 2241–2246. DOI: [10.11118/actaun201563062241](https://doi.org/10.11118/actaun201563062241)
27. Foereid B., Neergaard A., Henning H.J. Turnover of organic matter in a Miscanthus field: Effect of time in Miscanthus cultivation and inorganic nitrogen supply, *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, V.36, Is.7, p. 1075–1085. DOI: [10.1016/j.soilbio.2004.03.002](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.03.002)
28. Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Veprev S.G., Sakovich G.V., Shumny V.K. Cellulose from Various Parts of Soranovskii Miscanthus, *Russ J Genet Appl Res*, 2015, V.5, No.1, p. 60-68. DOI: [10.1134/S2079059715010049](https://doi.org/10.1134/S2079059715010049)
29. Blanco-Canqui H. Growing dedicated energy crops on marginal lands and ecosystem services, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2016, V. 80, Is.4, p. 845–858. DOI: [10.2136/sssaj2016.03.0080](https://doi.org/10.2136/sssaj2016.03.0080)
30. Heaton E.A., Flavell R.B., Mascia P.N. et al. Herbaceous energy crop development: recent progress and future prospects, *Current Opinion in Biotechnology*, 2008, V.19, Is.3, p. 202–209. DOI: [10.1016/j.copbio.2008.05.001](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.05.001)
31. Himken M, Lammel J, Neukirchen D. et al. Cultivation of Miscanthus under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization, *Plant and Soil*, 1997, V.189, p.117–126. DOI: [10.1023/A:1004244614537](https://doi.org/10.1023/A:1004244614537)
32. Hodkinson, T.R., Chase M.W., Takahashi C. et al. The use of dna sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae), *American Journal of Botany*, 2002, V. 89, No2, p. 279-286. DOI: [10.3732/ajb.89.2.279](https://doi.org/10.3732/ajb.89.2.279)
33. Hurter B. Nonwood fibers offer potential opportunity for papermakers, *TAPPI J.*, 2014, V. 13, No6, p. 5–6.
34. Jones M.B., Finnan J., Hodkinson T.R. Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land, *Global Change Biology Bioenergy*, 2015, V.7. Is.2. p.375-385. DOI: [10.1111/gcbb.12203](https://doi.org/10.1111/gcbb.12203)

35. Kalinina O., Nunn C., Sanderson R. et al. Extending *Miscanthus* Cultivation with Novel Germplasm at Six Contrasting Sites, *Front. Plant Sci.*, 2017, V.8, p.563. DOI: [10.3389/fpls.2017.00563](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00563)
36. Krizek D.T., Ritchie J.C., Sadeghi A.M. et al. A four-year study of biomass production of eastern gamagrass grown on an acid compact soil, *Soil Sci. Plant Anal.*, 2003, V. 34, p. 457–480. DOI: [10.1081/CSS-120017832](https://doi.org/10.1081/CSS-120017832)
37. Lewandowski I., Kicherer A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*, *Eur. J. of Agron.*, 1997, V.6, Is.3-4, p. 163–177. DOI: [10.1016/S1161-0301\(96\)02044-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02044-8)
38. Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop, *Biomass and Bioenergy*, 2000, V.19, Is.4, p. 209–227. DOI: [10.1016/S0961-9534\(00\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00032-5)
39. Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Andersson B. et al. Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes, *Agr. J.* 2003, V.95, Is.5, p.1274–1280. DOI: [10.2134/agronj2003.1274](https://doi.org/10.2134/agronj2003.1274)
40. Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Myrsini C. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe, *Biomass and Bioenergy*, 2003, V.25, Is.4, p. 335–361. DOI: [10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8)
41. Lewandowski I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M. et al. Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: results of the EU FP7 project OPTIMISC, *Front. Plant Sci.*, 2016, V.7, p. 1–23. DOI: [10.3389/fpls.2016.01620](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620)
42. Marra M., Keene T., Skousen J., Griggs T. Switchgrass yield on reclaimed surface mines for bioenergy production, *J. Environ.*, 2013, V.42, Is.3, p. 696–703. DOI: [10.2134/jeq2012.0453](https://doi.org/10.2134/jeq2012.0453)
43. Masters M.D., Black C.K., Kantola I.B. et al. Soil nutrient removal by four potential bioenergy crops: *Zea mays*, *Panicum virgatum*, *Miscanthus x giganteus* and prairie, *Agric Ecosyst Environ.*, 2016, V. 216, p. 51–60. DOI: [10.1016/j.agee.2015.09.016](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.016)
44. Maughan M. *Miscanthus x giganteus* productivity: the effects of management in different environments, *Global Change Biology Bioenergy*, 2012, V.4, Is.3, p. 253–265. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01144.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01144.x)
45. Naidu S.L., Moose S.P., Al-Shoaibi A.K. et al. Gold tolerance in *Miscanthus x giganteus*: adaptation in amounts and sequence of C4 photosynthetic enzymes, *Plant Physiology*, 2003, V. 132, p. 1688–1697.
46. Nijssen M., Smeets E., Stehfest E. et al. An evaluation of the global potential of bioenergy production on degraded lands, *Global Change Biology Bioenergy*, 2012, No4, Is. 2, p. 130–147. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01121.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01121.x)
47. Nunn C., Hastings A., Kalinina O. et al. Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse *Miscanthus* germplasm grown in six countries, *Front. Plant Sci.*, 2017, No8, p.1–14. DOI: [10.3389/fpls.2017.00907](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00907)
48. Pidlisnyuk V., Erickson L., Kharchenko S., Stefanovska T. Sustainable land management: growing miscanthus in soils contaminated with heavy metals, *J. Environ. Prot.*, 2014, V.5, No8, p. 723–730. DOI: [10.4236/jep.2014.58073](https://doi.org/10.4236/jep.2014.58073)
49. Robertson A.D., Davies Ch. A., Smith P. et al. Carbon inputs from *Miscanthus* displace older soil organic carbon without inducing priming, *Bioenerg. Res.*, 2017, V. 10, p. 86–102. DOI: [10.1007/s12155-016-9772-9](https://doi.org/10.1007/s12155-016-9772-9)
50. Schmer M.R., Xue Q., Hendrickson J.R. Salinity effects on perennial, warm-season (C4) grass germination adapted to the northern Great Plains, *Can. J. Plant Sci.*, 2012, V. 92, No5, p. 873–881. DOI: [10.4141/cjps2012-001](https://doi.org/10.4141/cjps2012-001)
51. Smith L.L., Barney J.N. The relative risk of invasion: Evaluation of *Miscanthus x giganteus* seed establishment, *Invasive Plant Science and Management*, 2014, V.7, No1, p. 93–106. DOI: [10.1614/IPSM-D-13-00051.1](https://doi.org/10.1614/IPSM-D-13-00051.1)
52. Tubeilen F., Rennie T.J., Goss M.J. A review on biomass production from C4 grasses: yield and quality for end-use, *Current Opinion in Plant Biology*, 2016, V. 31, p. 172–180. DOI: [10.1016/j.pbi.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.05.001)
53. Venuto B.C., Daniel J.A. Biomass feedstock harvest from Conservation Reserve Program land in northwestern Oklahoma, *Crop Sci.*, 2010, V. 50, Is.2, p. 737–743. DOI: [10.2135/cropsci2009.11.0641a](https://doi.org/10.2135/cropsci2009.11.0641a)
54. Wang C., Kong Y., Hu R., Zhou G. *Miscanthus*: a fast-growing crop for environmental remediation and biofuel production, *Global Change Biology Bioenergy*, 2020, V. 13, Is.1, p.1–12. DOI: [10.1111/gcbb.12761](https://doi.org/10.1111/gcbb.12761)
55. Wilson D.M., Dalluge D.L., Rover M. et al. Crop management impacts biofuel quality: influence of switchgrass harvest time on yield, nitrogen and ash of fast pyrolysis products, *Bioenerg. Res.*, 2013, V. 6, p. 103–113. DOI: [10.1007/s12155-012-9240-0](https://doi.org/10.1007/s12155-012-9240-0)
56. Yan J., Chen W., Luo F. et al. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication, *GGB Bioenergy*, 2012, V.4, Is.1, p. 49–60. DOI: [10.1111/j.1757-1707.2011.01108.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01108.x)
57. Zhuo Y., Zhang Y.F., Xie G.H., Xiong S.J. Effects of salt stress on biomass and ash composition of switchgrass (*Panicum virgatum*), *Acta Agric. Scand. Sect.*, 2015, V.65, p.300–309. DOI: [10.1080/09064710.2015.1006670](https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1006670)
58. Zub H.W., Brancourt-Hulmel M. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review, *Agronomy for sustainable development*, 2010, V.30, p. 201–214. DOI: [10.1051/agro/2009034](https://doi.org/10.1051/agro/2009034)

Received 11 January 2021

Accepted 05 February 2021; published 19 February 2021

**About the authors:**

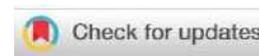
**Kapustyanchik Svetlana Yu.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Sector of introduction and technologies of cultivation of agricultural crops in the Siberian Research Institute for Plant Industry and Breeding, Branch of the Federal Research Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Russia); [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

**Yakimenko Vladimir N.** – Doctor of Biological Sciences, Head in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Science (Novosibirsk, Russia); [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto:yakimenko@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



## ПОЧВЕННОМУ МУЗЕЮ ИПА СО РАН – 20 ЛЕТ!

© 2020 Н. А. Соколова

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г.Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [nsokolova@issa-siberia.ru](mailto:nsokolova@issa-siberia.ru)

14 января 2021 года исполняется 20 лет со дня основания почвенного музея ИПА СО РАН. Образование и функционирование музея было продиктовано как количеством накопленных к началу XXI века знаний о почвах Сибири, так и необходимостью широкого просвещения населения в связи с назревшими экологическими проблемами. Преимущества академического музея – серьезное научное сопровождение коллекций, возможность для посетителей погрузиться в исследовательскую среду, прикоснуться к науке «из первых рук». Почвоведение – мультидисциплинарная наука, поэтому знания о почвах интересны не только самим почвоводам, но и коллегам из смежных отраслей – ботаникам, геологам, географам, специалистам в области сельского хозяйства и, природопользования, студентам, школьникам и т.д. Почвенный музей сегодня – это динамичная, развивающаяся структура, направленная на аккумуляцию и распространение знаний о почвах, закономерностях их развития и функционирования, формирование ответственного отношения к окружающей среде.

**Ключевые слова:** музеи; почвы; экспонаты; почвенные монолиты; образцы почв; фотовыставки

**Цитирование:** Соколова Н.А. Почвенному музею ИПА СО РАН – 20 лет! // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. e123. doi: [10.31251/pos.v3i3.123](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.123)

В системе музеев России в настоящее время функционирует более 3000 музеев, сохраняющих национальное и культурное достояние страны. Академические (исследовательские или научные) музеи находятся в ведении Академии наук, и всегда тесно связаны с учреждениями науки и образования. Академические музеи, как правило, отличаются высоким уровнем научного сопровождения, стремлением не только постоянно расширять свои фонды, но и совершенствовать формы взаимодействия с посетителями: организация экспозиций, выставок, лекций, интерактивов, взаимодействие со СМИ и т.д. Среди почти 600 российских естественнонаучных музеев существуют антропологические, геологические, минералогические, ботанические, зоологические, морские, палеонтологические и другие. Эти учреждения собирают, изучают и экспонируют коллекции естественных материалов, а также результаты исследований в профильных областях знания. Естественнонаучные музеи позволяют посетителям лучше узнать окружающий мир, сформировать эмпатию и бережное отношение к природе, повысить уровень образованности и культуры. Особенно это актуально для жителей городов, погруженных в искусственно созданную среду. Почвоведение, как мультидисциплинарная наука, дает самое широкое представление о функционировании ландшафтов, связи их компонентов, истории формирования. Музеев, непосредственно связанных с почвенными и земельными ресурсами, насчитывается около 20, из них за Уралом – всего 3 (включая Почвенный музей ИПА).

В свете новых экологических вызовов, связанных с изменением климата, увеличением объемов добычи полезных ископаемых, интенсификацией сельскохозяйственных производств, просвещение широких кругов населения в части экологической безопасности выступает на первый план. Почва – основа всех наземных экосистем – также подвергается влиянию многих негативных факторов, в первую очередь, антропогенного характера. Как правило, процессы естественной водной и ветровой эрозии почв многократно усиливаются под воздействием неправильно организованной хозяйственной деятельности человека. Распашка крутых склонов в областях проявления водной эрозии приводит к резкому увеличению смыва верхнего, наиболее плодородного почвенного горизонта; неконтролируемый выпас скота влечет усиление дефляционных процессов и опустынивания в степных районах; длительное использование пашни с ограниченным применением удобрений, несоблюдением севооборотов приводит к обесструктуриванию и дегумификации; неправильно организованное орошение провоцирует вторичное засоление и тому подобное (Глобальный климат., 2019). Зачастую почвы бывают полностью разрушены, например, при добыче полезных ископаемых – угля, нефти, железных и полиметаллических руд (Андроханов, Артамонова, 2018). Таким образом, происходит

постепенное и неуклонное снижение площадей не только сельскохозяйственных угодий, но и, в целом, продуктивных земель.

Вопросы экологической безопасности назрели уже к началу XXI столетия. Нарастающие темпы горной добычи, нефте- и газодобычи, сокращение площадей продуктивных пастбищ вследствие опустынивания, заболачивание лесных угодий, деградация вечной мерзлоты и другие проблемы требуют скорейшего принятия решений. Необходимость систематизации большого количества накопленных к 2000 году знаний о почвах обусловила создание Почвенного музея Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 14 января 2001 г. директором института И.М. Гаджиевым был издан приказ об организации Почвенного музея, призванного не только сохранять и аккумулировать образцы почв для дальнейшего мониторинга почвенных ресурсов Сибири, но и популяризовать науку о почвах в кругу коллег – специалистов естественнонаучного профиля, а также студентов, школьников и всех неравнодушных к природе людей. Первым руководителем Почвенного музея стал В.А. Кульшин, научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ИПА. Собранию и пополнению коллекций Музея способствовали и другие сотрудники Института – В.А. Хмелев, В.М. Курачев, Б.А. Смоленцев, О.В. Полохин, Е.Н. Смоленцева, Д.А. Соколов, Д.А. Гаврилов, С.А. Худяев, А.С. Чумбаев, М.Т. Устинов и многие другие.

Основными направлениями работы музея остаются экспозиционная и фондовая работа, образовательная и просветительская деятельность, проведение научных исследований, издание сувенирной и информационной продукции.

**Экспозиционная и фондовая работа.** Главными экспонатами почвенного музея являются почвенные монолиты – вертикальные срезы почв в ненарушенном, естественном сложении. Формирование коллекции монолитов было начато еще до создания почвенного музея, некоторые монолиты хранились со времен существования Почвенного отдела в Биологическом институте СО АН СССР. Экспозиция монолитов почв состоит из 3-х частей.



**Фото 1.** Экспозиция монолитов в Почвенном музее ИПА

Одна из них составлена по принципу смены природных зон и зональных почвенных типов от подзолов северной тайги до каштановых почв сухих степей Западной Сибири. Профили почв сопровождаются фотографиями характерных ландшафтов, в которых эти почвы существуют. Такая концепция позволяет проследить закономерности формирования различных типов почв в биоклиматических областях в соответствии с почвенно-географическим районированием.

Вторая часть экспозиции монолитов сформирована по принципу смены почв в зависимости от положения в рельефе – от автоморфных зональных типов почв лесостепи (черноземов) к гидроморфным интразональным (болотные и засоленные почвы). Такой принцип размещения

позволяет проследить роль рельефа в распределении поступающих на земную поверхность тепла и влаги и, соответственно, в почвообразовании.

Третья часть представлена монолитами молодых почв – эмбриоземов, развивающихся на отвалах вскрышных пород после добычи полезных ископаемых. Эта часть экспозиции иллюстрирует влияние возраста, технологий рекультивации, а также почвообразующих пород на свойства почв и их эволюцию. В настоящее время в музее экспонированы 52 почвенных монолита. Все они именные, т.е. указано, кем и где они были взяты. Многие сопровождаются эколого-генетической характеристикой, а также морфологическим описанием и аналитическими данными.

Кроме почвенных монолитов, отражающих строение полного профиля почв, в фонде музея имеется коллекция микромонолитов, представляющих собой усеченное строение почвенного профиля, т.е. насыпные образцы с сохранной структурой, размещенные в соответствии с расположением почвенных горизонтов. Коллекция включает в себя микропрофили почв от тундровых мерзлотных до почв сухих степей юга Западной Сибири.

Помимо монолитов, музей располагает коллекцией (210 единиц хранения) насыпных образцов почв из опорных разрезов. Такой подход позволяет получить более полное представление о почвах Сибири, использовать имеющиеся образцы с известными аналитическими данными в качестве стандартов, при проведении мониторинговых исследований состояния почвенного покрова на территории Сибири. К настоящему моменту сотрудниками института (Смоленцева Е.Н., Чумбаев А.С., Соколова Н.А.) разработана методика отбора для пополнения фонда насыпных образцов, а также ведется работа по созданию пространственно распределенной базы почвенных данных по опорным разрезам.



**Фото 2.** Насыпные образцы из горизонтов почв:

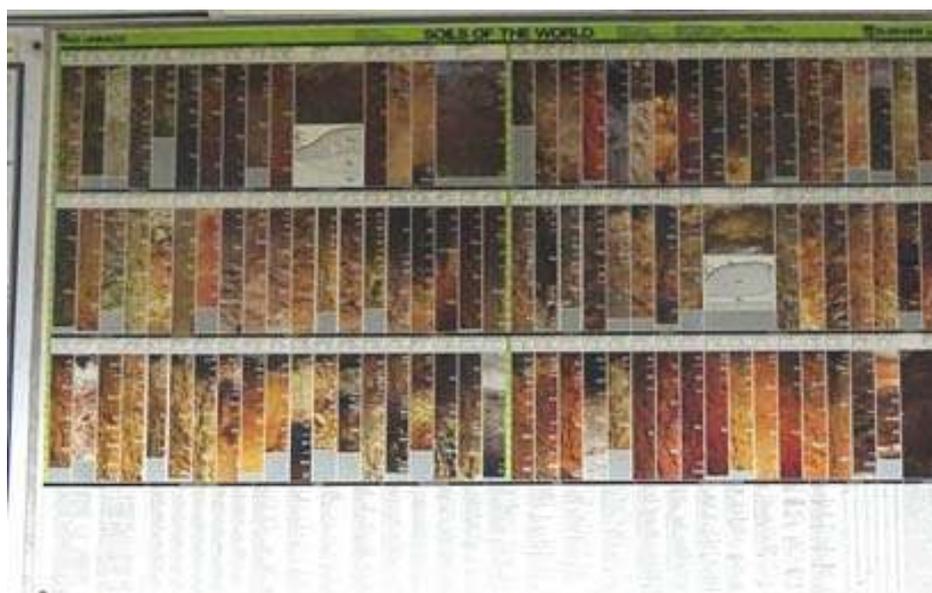
а – подзол иллювиально-железисто-гумусовый; б – подзол грубогумусированный

Кроме почвенных образцов, музей располагает коллекциями природных материалов, непосредственно связанных с почвами. Это коллекции почвенных структур (почвенные агрегаты разных форм и размеров из разных почвенных горизонтов); почвенных новообразований различного происхождения (карбонатных, железисто-марганцевых, гумусовых); почвообразующих пород (рыхлых и плотных осадочных, метаморфических, магматических); почвенных включений, в т.ч. окаменелостей. Коллекции новообразований в почвах позволяют наглядно демонстрировать течение и результаты почвообразовательных процессов, а знания о почвенных включениях помогают лучше представить связь почв как особых природных тел с другими компонентами ландшафта и историю его развития.



**Фото 3.** Карбонатные почвенные новообразования

Наглядным результатом работы почвоведов, в том числе сотрудников Института почвоведения и агрохимии СО РАН, являются многочисленные почвенные карты, находящиеся в распоряжении музея. Это и тематические специальные карты (например, карта типов засоления почв Барабинской низменности, составленная Р.В. Ковалевым, Н.И. Базилевич и др. в 1965 г., М 1 : 1 000 000) и карты общего назначения разного масштаба: Почвенная карта Новосибирской области (М 1 : 400 000), Почвенная карта юго-восточной части Западной Сибири (М 1 : 2 500 000), Почвенная карта Азиатской части СССР (М 1 : 6 000 000), Почвенная карта России (М 1 : 5 000 000), Почвенная карта мира (М 1 : 10 000 000). Более широкое представление о почвах всего мира помогает получить планшет «Почвы мира» (Soils of the World), который содержит фото 106 профилей почвенных разрезов, сопровождающиеся названиями почв по семи классификациям.



**Фото 4.** Стенд «Почвы мира» в экспозиции музея.

Отображена в действующей экспозиции и история становления и развития почвенной науки в Сибири. В фонде мемориальных и документальных предметов имеются портреты основателей почвоведения в России – В.В. Докучаева, и в Сибири – К.П. Горшенина, фотопортреты основателя Института – Р.В. Ковалева, и его учеников, первых заведующих лабораториями. Демонстрируются

и копии документов: постановления Академии наук и Правительства об организации Института почвоведения и агрохимии в составе СО АН СССР. В фонде документальных источников сосредоточены копии периодических изданий с заметками о деятельности института, а также публикации сотрудников ИПА.

В экспозиции музея представлены также печатные работы сотрудников Института почвоведения и агрохимии, монографии о почвах Сибирского Федерального округа, а также издания, полученные в дар от других организаций, в числе которых материалы конференций, труды известных почвоведов, брошюры о почвах и природе Сибири вообще, биографические издания. Коллекция печатных изданий постоянно пополняется, в том числе редкими экземплярами. Участие сотрудников Института в научных и научно-практических конференциях отмечено коллекцией памятных значков.



**Фото 5.** Монографии о почвах Сибирского федерального округа в основной экспозиции.

Большое количество фотоматериалов, имеющих в распоряжении Музея, позволяет иллюстрировать не только особенности формирования почв в различных биоклиматических условиях и закономерности смены факторов почвообразования, но также организовывать тематические фотовыставки.

Так, постоянно экспонируется фотогалерея почвенных профилей, а также ландшафтов, к которым они приурочены. Тематические выставки освещают юбилейные даты, а также текущие актуальные проблемы. Например, в 2007 и 2017 гг. к 100-летию и 110-летию со дня рождения основателя института и выдающегося организатора почвенной науки в Сибири Р.В. Ковалева были экспонированы фотоматериалы, посвященные его жизни и научной деятельности. В 2013 и 2018 гг. в стенах Института были организованы фотовыставки, посвященные 45-летию и 50-летию Института почвоведения и агрохимии («ИПА в лицах», «Люди и время» и «Полевые старания») с использованием материалов, предоставленных сотрудниками института. В 2016 году музей предоставил фотоматериалы и компетентные комментарии к ним для проведения выставки «Природа города Новосибирска», проводимой Музеем города Новосибирска. Кроме того, в стенах Института была организована фотовыставка «Природные зоны и почвы» с использованием материалов, предоставленных Б.А. Смоленцевым. В 2017 году в стенах Института была организована фотовыставка, посвященная Году экологии в России «S.O.S. – Save Our Soils!» («Спасите наши почвы!»). Кроме того, фотоматериалы музея были включены в выставку «Мир под микроскопом», проведенную Выставочным Центром СО РАН. В 2019 г. организована фотовыставка к 20-летию Совета научной молодежи ИПА СО РАН.



**Фото 6.** Фотовыставка к 45-летию ИПА СО РАН «ИПА в лицах».

Хранение и учет осуществляется с использованием специальной учетной документации, обеспечивающей возможность полной идентификации экспонатов и содержащей сведения о их местонахождении, сохранности, форме использования и т.д. Пополнение коллекций осуществляется в основном по инициативе сотрудников института и руководителя музея. Ежегодно в фонды поступает от 20 до 150 единиц хранения (без учета электронных носителей).

**Образовательная и просветительская работа.** Приоритетной частью функционирования музея является научно-просветительская работа по популяризации почвенной науки. Такая работа проводится в виде экскурсий, лекций, встреч с ведущими учеными Института непосредственно в музее, а также в лабораториях в дни открытых дверей, просмотра фильмов. Среди видеоматериалов представлены фильмы о роли почв на планете, связи почв с ландшафтами, специфике работы почвоведов. Самым маленьким посетителям – дошкольникам и младшим школьникам демонстрируются мультфильмы о различных компонентах почвы и их функционировании в доступной для этого возраста форме. Особенно плотное сотрудничество сложилось у Почвенного музея с ВУЗами, специализирующимися на сельскохозяйственном производстве, природопользовании, экологии (НГАУ, НГУЭиУ, НГПУ, СГУГиТ и др.). Студенты и магистранты этих и других учебных заведений ежегодно становятся посетителями музея. Некоторые из них в дальнейшем приходят в ИПА для прохождения производственной практики или выполнения исследовательской работы в магистратуре. Кроме учащихся ВУЗов, колледжей, школ экскурсии в музей проводятся и для участников конференций, проходящих под эгидой ИПА.

Так, посетителями музея стали участники I, II, и III Ковалевских молодежных чтений (в 2010, 2013 и 2016 гг. соответственно); участники III Международной научной школы по палеопочвоведению (2012 г.); участники Съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева (2004 г.); участники конференций «Природно-техногенные системы» (в 2013 и 2016 гг.), участники юбилейных конференций, посвященных 100-летию и 110-летию основателя института Р.В. Ковалева (в 2007 и 2017 гг.); участники конференции, посвященной 50-летию ИПА, а также периодических почвенно-агрохимических семинаров, семинаров молодых ученых и т.д.

Экспозиции музея демонстрируются и ученым из других научных организаций России, сотрудничающих с ИПА – Пермская ГСХА, Убсу-Нурский международный центр биосферных исследований (Тыва), Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пушкино), Почвенный институт им. Докучаева (г. Москва), Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), НИИ сельского хозяйства (г. Красноярск), Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск), Биолого-Почвенный институт ДВО РАН (г. Владивосток) и другие. Знакомятся с фондами музея и историей ИПА и иностранные коллеги из ближнего и дальнего зарубежья – Монголии, Казахстана, Азербайджана, Польши, Германии, Франции, Испании, Турции, Украины, Беларуси.



**Фото 7.** Экскурсия в музей для студентов.

В Дни открытых дверей, обычно приуроченные к Всероссийскому дню науки и Городским дням науки, музей ежегодно принимает посетителей из числа жителей Новосибирска и области, равнодушных к знаниям о природе, почвах, вопросам сохранения экологического благополучия.

С 2018 года Почвенный музей ИПА участвует в Общероссийском научном фестивале «Наука 0+», благодаря которому появились дополнительные возможности коммуникации с учебными и научными заведениями в целях популяризации науки о почвах. Согласно новым тенденциям в просвещении, в лекции для школьников введены элементы интерактива: дети могут сами провести простые опыты с образцами почв и сделать выводы об их свойствах.



**Фото 8.** Школьники за просмотром фильма о почвах.

Ежегодно посетителями Почвенного музея ИПА становятся до 350 человек, что отражает большой интерес в самых разных кругах специалистов и учащихся к проблемам экологии, охраны окружающей среды, формированию и функционированию ландшафтов.

Экспозиции музея способствуют иллюстрации материалов о работе ИПА в СМИ. Так, в 2018 г. здесь проводились съемки части передачи «Пешком по Новосибирской области» с комментариями Е.Н.Смоленцевой; в 2020 г. прошла съемка сюжета о результатах Большой Норильской Экспедиции телеканалом «МИР», а также корреспондентами газеты «Наука в Сибири».

Материалы почвенного музея были использованы также при подготовке к участию в праздновании Дня Академгородка: сотрудники ИПА с плакатами прошли торжественным маршем по главным улицам Новосибирского научного центра – проспектам Лаврентьева и Морскому.



**Фото 9.** Праздничное шествие сотрудников ИПА СО РАН по Академгородку.

Важным для информационной поддержки и пропаганды охраны окружающей среды остается *издание справочных и информационных материалов*. Так, к 45-летию и 50-летию ИПА СО РАН изданы краткие справочники, содержащие основные сведения о структуре Института, направлениях работы подразделений и основных достижениях сибирского почвоведения. В 2003 и 2014 гг. изданы иллюстрированные брошюры «Почвенный музей» с кратким описанием работы музея, основных экспозиций, историей развития науки о почвах в Сибири. В 2004 г. опубликован биографическо-библиографический справочник «Почвоведы и агрохимики Сибири и Дальнего Востока», где приведены сведения о наиболее известных сибирских почвоведов и агрохимиках, их заслугах, наградах, библиографические данные, главные результаты исследований (Почвоведы и агрохимики..., 2004). В 2017 г. к 110-летию юбилею основателя института Р.В.Ковалева опубликован биобиблиографический справочник (Павлова, Соколова, 2017). В 2011 г., в год 10-летнего юбилея Почвенного музея, в качестве сувенирной продукции напечатан календарь с фотографиями профилей почв и сотрудников ИПА.

**Научно-исследовательская деятельность.** Создание и пополнение коллекций и экспозиций музея сопровождается исследовательской деятельностью, отражающей суть научного музея. Опубликованы работы, обобщающие историю развития почвоведения в Сибири (Кульшин, 2004; Хмелев, Кульшин, 2007; Кульшин, 2009), закономерности формирования свойств почв на территории Западной Сибири (Хмелев, Кульшин, 2013; Почвы заповедников и национальных..., 2012), а также поднимающие проблематику необходимости экологического просвещения (Кульшин, 2013; Кульшин, 2015).

Таким образом, за 20 лет существования Почвенный музей предстает как динамичная, развивающаяся структура, способствующая накоплению знаний о почвах и закономерностях их формирования, популяризации почвоведения, воспитанию бережного отношения к окружающему миру, пропаганде охраны почв и рационального природопользования. Перспективы существования и развития Почвенного музея ИПА связаны с приоритетным использованием пространства Интернет, увеличением возможностей представления изображений коллекций онлайн, с сохранением в то же время живого общения с учеными-почвоведом и широкого внедрения интерактивных занятий для посетителей.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андроханов В.А., Артамонова В.С. *Развитие теоретических основ рекультивации нарушенных земель в Сибири* // Почвы в биосфере: Сб. материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Отв. ред. А.И. Сысо. Томск, 2018. С. 294 – 297.
2. *Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)*. Национальный доклад. Т.2 / Иванов А.Л., Куст Г.С., Донник И.М., Бедрицкий А.И., Багиров В.А. и др. М.: Изд-во МБА, 2019. 476 с.
3. *Почвоведы и агрохимики Сибири и Дальнего Востока.* / Отв. ред. В.А.Хмелев. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2004. 338 с.
4. Роман Викторovich Ковалев. *Биобиблиография* (составители Павлова О.Н., Соколова Н.А.) / Отв.ред. Соколова Н.А. Новосибирск, 2017. 36 с.
5. Кульшин В.А. *Основные этапы развития сибирского почвоведения.* // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. С.628.
6. Хмелев В.А., Кульшин В.А. Наш ИПА: они были первыми // *Сибирский экологический журнал.* 2007. Т.14. № 5. С. 688 – 701.
7. Кульшин В.А. История развития почвенных исследований в Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал.* 2009. Т. 16. № 2. С.139 – 142.
8. Андроханов В.А., Кульшин В.А., Пузанов А.В., Балыкин С.Н. *Алтайский государственный природный биосферный заповедник* / В кн. «Почвы заповедников и национальных парков России». М.: НИИ-Природа. 2012. С. 292 – 294.
9. Хмелев В.А., Кульшин В.А. Почвы Западной Сибири и их экспонирование в Почвенном музее ИПА СО РАН // *Вестник НГАУ.* 2013. № 3 (28). С. 34 – 40.
10. Кульшин В.А. *Почвенный музей – открытая дверь в мир природы и знаний.* // Вестник ИрГСХА. № 57-2, 2013. С. 105 – 109.
11. Кульшин В.А. *Значение академического (научного) музея в системе образования, культурно-нравственного воспитания населения и популяризации научных знаний* // В сб.: Музеи научных и учебных заведений: история, вклад в сферы знания и образования. Омск, 2015. С. 130 – 136.

Поступила в редакцию 24.12.2020

Принята 26.12.2020

Опубликована 30.12.2020

**Сведения об авторе:**

**Соколова Наталья Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [nsokolova@issa-siberia.ru](mailto:nsokolova@issa-siberia.ru)

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## THE SOIL MUSEUM OF THE INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY SB RAS IS 20 YEARS OLD!

© 2020 N.A. Sokolova 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [nsokolova@issa-siberia.ru](mailto:nsokolova@issa-siberia.ru)

January 14, 2021 marks the 20th anniversary of the Foundation of the Soil Museum of the ISSA SB RAS. The formation and functioning of the Museum was dictated both by the amount of knowledge accumulated by the beginning of the XXI century about the soils of Siberia, and the need for broad education of the population in connection with urgent environmental problems. The advantages of the academic Museum are serious scientific support of collections, an opportunity for visitors to immerse themselves in the research environment, to touch science "first-hand". Soil science is a multidisciplinary science, so knowledge about soils is interesting not only for soil scientists themselves, but also for other scientists, i.e. botanists, geologists, geographers and other specialists in the field of agriculture, nature users, students,

*schoolchildren, etc. The Soil Museum today is a dynamic, developing structure aimed at accumulating and disseminating knowledge about soils, their development and functioning, overall aimed at the formation of a responsible attitude to the environment.*

**Key words:** museums; soils; exhibits; soil monoliths; soil samples; photo exhibitions

**How to cite:** Sokolova N.A. The Soil Museum of the ISSA SB RAS is 20 years old! // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(3). e123. doi: [10.31251/pos.v3i3.123](https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.123) (in Russian with English abstract).

## REFERENCES

1. Androkhyanov V.A., Artamonova V.S. *Development of theoretic basis of disturbed territories reclamation in Siberia*. In book: Soils in biosphere: materials of All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS. Ex. Editor A.I.Syso. Tomsk, 2018, p. 294 – 297. (in Russian)
2. *The global climate and the soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)*. National report. Vol.2. Ivanov A.L., Kust G.S., Donnik I.M., Bedritsky A.I., Bagirov V.A. and other. Moscow: MBA Publ., 2019. 476 p. (in Russian)
3. *Soil scientists and agrochemists of Siberia and the Far East*/ Ex. Editor V.A. Khmelev. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2004, 338 p. (in Russian)
4. *Roman Viktorovich Kovalev. Biobibliography*. (Made up of Pavlova O.N., Sokolova N.A) / Ex. Editor Sokolova N. A. Novosibirsk, 2017, 36 p. (in Russian)
5. Kulshin V. A. *The main stages of development of the Siberian soil science* In book: Soils are a national treasure of Russia: materials of the IV Congress of the Dokuchaev Society of Soil Scientists. Novosibirsk: Nauka-Tsentrl Publ., 2004, p. 628. (in Russian)
6. *Khmelev V.A., Kulshin V.A. Our ISSA: they were the first, Siberian Journal of Ecology, Vol. 14, No5, 2007, p. 688 – 701.* (in Russian)
7. *Kulshin V.A. History of the development of soil research in Western Siberia, Contemporary Problems of Ecology, Vol. 16, No.2, 2009, p.139-142.* (in Russian)
8. Androkhyanov V. A., Kulshin V. A., Puzanov A.V., Balykin S. N. *Altai State Nature Biosphere Reserve*, In book: Soils of nature reserves and national parks of Russia. Moscow: NIA-Nature. 2012, p. 292 – 294. (in Russian)
9. *Khmelev V.A., Kulshin V.A. Soils of Western Siberia and their exhibition in the Soil Museum of ISSA SB RAS, Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University, 2013, No.3 (28), p. 34 – 40.* (in Russian)
10. Kulshin V. A. Soil Museum – an open door to the world of nature and knowledge, *Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2013, No. 57-2, p. 105 – 109.* (in Russian)
11. Kulshin V. A. *The Significance of the Academic (Scientific) Museum in the system of education, cultural and moral education of the population and popularization of scientific knowledge*. In book: Museums of scientific and educational institutions: history, contribution to the spheres of knowledge and education. Omsk, 2015, p. 130-136. (in Russian)

*Received 24 December 2020*

*Accepted 26 December 2020*

*Published 30 December 2020*

### About the author:

**Sokolova Natalia A.** – Junior Researcher of Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [nsokolova@issa-siberia.ru](mailto:nsokolova@issa-siberia.ru)

*The author read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)