

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.241>

## Оценка длительного воздействия культуры *Miscanthus sacchariflorus* на свойства почвы

© 2024 С. Ю. Капустянчик <sup>1</sup>, В. Н. Якименко <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 630501, Россия. E-mail: [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

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

**Цель исследования.** Оценить воздействие разновозрастных посадок *Miscanthus sacchariflorus* сорт Сорановский на свойства серой лесной почвы в условиях лесостепи Западной Сибири.

**Место и время проведения.** Экспериментальная часть исследований выполнялась в 2018–2020 гг. на научной экспериментальной базе ИЦиГ СО РАН (г. Новосибирск).

**Методы.** Использовали методы полевого опыта, химического, физического анализа почвенных и растительных образцов по общепринятым методикам. Статистическую значимость различий вариантов оценивали по наименьшей существенной разнице на уровне  $p \leq 0,05$ .

**Основные результаты.** Исследования показали, что разновозрастные посадки *Miscanthus sacchariflorus* позволяют получать 12–15 т сухой массы с 1 га в течение 14 и более лет без снижения урожайности. Подтверждена способность *Miscanthus sacchariflorus* эффективно произрастать на почвах с низким уровнем плодородия: за 11 лет произрастания *Miscanthus* на почве лёгкого гранулометрического состава содержание в ней гумуса возросло на 0,3–0,4%.

**Заключение.** Результаты проведённых исследований показали, что культура *Miscanthus* обладает широкими адаптационными возможностями применительно к малоплодородным землям, препятствуя их прогрессирующей деградации, улучшая эколого-агрохимическое состояние экосистемы и обеспечивая агрономическую целесообразность производства. Посадки *Miscanthus* оказывают благоприятное средообразующее влияние на низкоплодородные почвы, благодаря обогащению их элементами минерального питания, улучшению гумусного и структурного состояния.

**Ключевые слова:** *Miscanthus sacchariflorus* сорт Сорановский; серая лесная почва; продуктивность; структура почвы; водоустойчивость агрегатов.

**Цитирование:** Капустянчик С.Ю., Якименко В.Н. Оценка длительного воздействия культуры *Miscanthus sacchariflorus* на свойства почвы // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. e241. DOI: [10.31251/pos.v7i1.241](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.241)

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальны проблемы нерационального землепользования – увеличиваются процессы эрозии почв, их засоления, уплотнения, потери почвенного органического углерода. Современные оценки свидетельствуют, что площадь таких почв составляет почти 2 млрд га в мире. В России сельскохозяйственные угодья занимают около 220 млн га (~13% ее площади), из них пахотные – около 122 млн га. При этом, больше половины пахотных почв (58%) подвержены сильной водной и ветровой эрозии, переувлажнены, заболочены или засолены. Вынос питательных элементов из почвы за счёт сельскохозяйственной деятельности ежегодно в 3 раза превышает их возврат с вносимыми удобрениями, что обуславливает очевидную необходимость определенных усилий и затрат на поддержание почвенного плодородия. Кроме того, в связи с экономическим кризисом начала 90-х годов XX века более 1/4 сельскохозяйственных земель в РФ было «заброшено», сократив тем самым площадь сельхозугодий примерно на 34 млн га. Нарастающее перманентное антропогенное воздействие на почвы явно свидетельствует о необходимости и актуальности мониторинга и оптимизации их экологического состояния.

В этой связи последние годы активно ведутся поиски путей эффективного использования растений фиторемедиантов, положительно влияющих на химические, физико-химические и физические свойства почвы (Капустянчик, Якименко, 2020). К таким растениям относят, в том числе, и мискантус (*Miscanthus*). В России *Miscanthus* выращивали для посадки на берегах засыхающих озёр с целью спасения озерной флоры и фауны и очистки воды, для борьбы с эрозией почв (против образования оврагов) (Сакович и др., 2018). Возможность выращивания этого многолетнего злака на

загрязнённых почвах и использование его биомассы с целью получения биотоплива делает это растение весьма перспективным в хозяйственной деятельности России (Зеленова и др., 2021).

**Целью** нашего исследования было оценить воздействие разновозрастных посадок *Miscanthus sacchariflorus* сорт Сорановский на свойства серой лесной почвы в условиях лесостепи Западной Сибири.

**Задачи:** сравнить продуктивность разновозрастных посадок *M. sacchariflorus*; проанализировать изменение эффективного плодородия почвы при длительном выращивании *M. sacchariflorus*; изучить структурное состояние почв в разновозрастных посадках *M. sacchariflorus*.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования с разновозрастными посадками *Miscanthus sacchariflorus* проводились на полях экспериментального хозяйства ИЦиГ СО РАН, заложенного в 70-х годах прошлого века и расположенного в правобережье Новосибирского водохранилища (г. Новосибирск, 54°50'42,6"N, 83°07'43,1E"). Почвенный покров опытных полей составляют серые лесные и дерново-подзолистые почвы, небольшие участки которых в естественном, целинном состоянии сохранились по опушкам окружающих поля сосново-берёзовых и берёзовых лесов. Серые лесные почвы относятся к зональным почвам северной лесостепи Новосибирского Приобья. Они составляют основу почвенного покрова третьей надпойменной террасы р. Оби и склонов лесового плато, формируются на повышенных формах рельефа восточной части Академгородка (г. Новосибирск) под берёзовыми лесами и остепенёнными лугами. Многолетнее сельскохозяйственное использование данных почв привело к существенному снижению их эффективного плодородия, уменьшению содержания питательных элементов и гумуса (Сысо и др., 2010).

**Объект исследования:** *Miscanthus sacchariflorus* сорт Сорановский (оригинатор — Институт цитологии и генетики СО РАН) включён в Государственный реестр селекционных достижений в 2012 г. (свидетельство № 58540) и допущен к возделыванию на всей территории РФ с 2013 г.

Рассматриваемый опыт представлял собой поле площадью 1 га с разновозрастными плантациями *M. Sacchariflorus*, 2005, 2009 и 2015 годов посадки (Капустянчик, Бурмакина, 2020). Участки с *M. sacchariflorus* (полосы 50×20 м) чередуются с такими же участками бессменного пара, служившего в качестве контроля. Повторность опыта 4-кратная. Исследования проводили в 2018–2020 гг. В качестве посадочного материала использовали корневища *M. Sacchariflorus*, сорт Сорановский. Корневища высаживали в мае (посадочная норма 1,4 т/га) вручную в борозды глубиной 20–25 см, расстояние между бороздами 70 см; далее поверхность выравнивалась и прикатывалась. В связи с необходимостью выявления средообразующих возможностей мискантуса, удобрения в опыте не применялись. *M. sacchariflorus* убирали сплошным скашиванием в начале октября при высыхании надземной биомассы; урожай учитывали выборочно отбором надземной биомассы с помощью рамки 0,25 м<sup>2</sup> в 4-кратной повторности.

Растительные образцы оценивали по абсолютно-сухой массе, которая определялась после сушки образцов в сушильном шкафу при температуре 105°C до достижения постоянной массы. Подземную биомассу учитывали в слое 0–25 см методом монолитов. Почвенные образцы отбирали после уборки надземной биомассы, из слоёв 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см и анализировали общепринятыми методами: гумус – по Тюрину, рН – на потенциометре; агрегатный анализ почв проводили по методу Саввинова (сухое просеивание) (Самофалова, 2021). Для агрегатного анализа почв на вариантах опыта были выбраны методом конверта 5 площадок радиусом 5 м, в пределах которых с глубины 0–20 см отобраны образцы ненарушенного сложения размером 15×15×20 см. Такой подход позволил избежать искусственного перераспределения размерных фракций агрегатов (Холодов и др., 2019). Перед проведением анализа образцы были доведены до воздушно-сухого состояния. Сухое просеивание полученных образцов почв проводили по методу Саввинова с диаметром ячейки сит 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 10 мм. Для определения водопрочности структуры почвы использовали прибор И.М. Бакшеева. Для анализа были взяты фракция размером >10 мм, агрегаты 10–7, 7–5 и 5–3 мм. По результатам сухого и мокрого просеивания рассчитаны средневзвешенные диаметры сухих и водоустойчивых агрегатов почв. Структуру почвы оценивали по следующим показателям: 1) содержание агрономически ценной структуры почвы; 2) коэффициент структурности ( $K_{стр}$ ); 3) определение количества водопрочных агрегатов по классификации И.В. Кузнецовой (Белоусова, 2022); 4) оценка агрономически ценной структуры по С.И. Долгову и П.У. Бахтину по отношению результатов сухого и мокрого просеивания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Продуктивность разновозрастных посадок *M. sacchariflorus*.** Плантация *M. sacchariflorus* формируется по следующим этапам: после высадки корневищ *M. sacchariflorus* в первый год происходит активное формирование корневой массы за счёт роста и развития ризом и формирования подземных узлов. Продуктивность подземной биомассы составила  $2,6 \pm 0,4$  т/га, преобладая над надземной, которая имела значения  $0,8 \pm 0,2$  т/га (табл. 1). В течение второго и третьего года развития культуры происходило активное нарастание как надземной, так и подземной биомассы: урожайность надземной массы культуры составила 8,1–10,7 т/га, подземной – 4,0–8,9 т/га. На третий год вегетации продуктивность культуры имела значения  $10,7 \pm 2,2$  т/га и в последующие годы сохранялась на этом уровне. Максимальный прирост корневищ отмечен в 2018 г., однако он существенно не отличался от прироста в 2017 и 2019 гг. Корневая система в виде ризом развивалась на глубину почвы 20–25 см, в нижележащих слоях 20–50 см располагаются сосущие корни, масса которых составляет почти 30% всей корневой системы. Отмечено уменьшение количества корней с глубиной, т.е. плотность корневой системы является самой высокой в верхнем слое почвы (Якименко и др., 2021; Капустянчик, 2023). Таким образом, формирование плантации *M. sacchariflorus* на малопродуктивных почвах происходит к третьему году вегетации (рис. 1).

Таблица 1

Продуктивность *M. sacchariflorus* 2015 года посадки (г. Новосибирск) и содержание углерода в биомассе

Год определения	Биомасса, т абсолютно сухого вещества/га		Общая биомасса, т/га
	надземная	подземная (в слое почвы 0–25 см)	
2015	$0,8 \pm 0,2^*$	$2,6 \pm 0,4$	3,4
2016	$8,1 \pm 2,1$	$4,0 \pm 0,9$	12,1
2017	$10,7 \pm 2,2$	$8,9 \pm 1,4$	19,6
2018	$10,8 \pm 1,3$	$9,7 \pm 1,3$	20,5
2019	$10,2 \pm 1,2$	$9,1 \pm 2,1$	19,3
Содержание С, %	$44,7 \pm 1,5$	$43,0 \pm 1,4$	43,8
Содержание С, т/га	$4,5 \pm 1,1$	$3,9 \pm 2,0$	8,4

Примечание.

\*Здесь и далее в табл. 2, 4, 6 представлены среднее арифметическое и стандартное отклонение ( $M \pm SEM$ ).



Рисунок 1. Сформированная трехлетняя плантация *M. Sacchariflorus* сорт Сорановский.

Закономерности распределения и роста корней у многолетних растений, таких как *Miscanthus*, недостаточно известны. Не существует общепринятого метода оценки корневых систем многолетних травянистых растений. Основными трудностями являются отделение корней текущего года от корней, созданных в предыдущие годы, а также выявление различий между живыми и мёртвыми корнями. Поэтому в полевом исследовании корневой системы *Miscanthus* в конце вегетации 2018 г. провели оценку корневого распределения и определения плотности корневой системы на глубине 0–100 см с использованием метода горизонтальной раскопки корневых систем. Верхний 20-см слой почвы содержит 50% подсчитанных корневищ и корней. Соотношение корневищ к корням составило 1:1 при

их общей массе 4,4 кг (влажность 65%). Было отмечено интенсивное ветвление корневищ и формирование большого количества подземных узлов. Так, на 1 м<sup>2</sup> наблюдалось 95 основных корневищ с общей длиной 2677 см и 140 боковых корневищ. Важным показателем при оценке подземного банка вегетативных органов является подземный меристематический потенциал – это количество узлов (меристематических очагов) на подземных побегах. Число узлов на подземных побегах в наших исследованиях составило 66 шт./м<sup>2</sup>, что говорит о хорошем потенциале культуры. В нижележащих слоях корневища не обнаруживаются, на глубине 20–50 см обнаружены сосущие корни, масса которых составляет почти 30% всех подсчитанных корней и корневищ. Отмечено уменьшение количества корней с глубиной. В целом, результаты нашего исследования подтверждают результаты других исследователей о том, что плотность корневой системы является самой высокой в верхнем слое почвы (Mann et al., 2013).

Продуктивность культуры на малоплодородных почвах формируется как за счёт надземной, так и подземной части, что отличает *Miscanthus* от естественной травяной растительности, где наибольшие запасы биомассы (до 50–60 т/га) относятся к подземной части растений (Титлянова и др., 2018). Следствием этого является пропорциональное поступление органического вещества в почву с подземной и надземной биомассой. Так, среднее содержание углерода в надземной биомассе *M. Sacchariflorus* в 2019 году (пятилетняя плантация) составило 44,7% или 4,5 т/га; в подземной биомассе в слое почвы 0–25 см – 43,0% или 3,9 т/га. Среднее содержание углерода в общей биомассе составило 43,8% или 8,4 т/га.

Оценивая биометрическую характеристику разновозрастных посадок *M. Sacchariflorus*, проведённую в 2018 г. (табл. 2), можно отметить, что высота растений, измеренная от основания стебля до конца самого длинного листа, оцененная после окончания вегетационного периода (3 декада сентября – 1 декада октября), варьировала в пределах 180–229 см при средней величине 201 см. Причём максимальная высота растений отмечена на делянках 2015 года посадки и составляла 211 см. Число междоузлий на генеративных стеблях не отличались и составили значение 10 штук на одном побеге.

Таблица 2

Характеристика надземной биомассы разновозрастных посадок *M. Sacchariflorus*, 2018 год (г. Новосибирск)

Год посадки	Длина генеративного побега, см	Густота стеблестоя, шт./м <sup>2</sup>	Число междоузлий на главном побеге, шт.	Облиственность, %	Продуктивность (уборка осенью), т/га	Продуктивность (уборка весной следующего года), т/га
2005	194,0±13,3	223,0±7,0	10,0±1,0	42,0±1,2	12,4±1,6	6,7±1,2
2009	200,0±2,4	302,0±8,0	10,0±1,0	43,0±2,3	14,3±1,4	8,2±1,1
2015	211,0±17,7	202,0±8,0	10,0±1,0	41,0±0,9	10,8±1,3	5,7±0,8

Важным качественным показателем культуры является соотношение листьев и стеблей. Облиственность на сформированных плантациях, независимо от возраста посадок, варьировала в пределах 41–43%, то есть оценка компонентов урожайности позволила установить, что преобладающей частью у *M. Sacchariflorus* является стебель.

Густота стеблестоя имела значения от 193 до 310 шт./м<sup>2</sup> при среднем значении 251 шт./м<sup>2</sup>. Максимальная густота стеблестоя отмечена на делянках 2005 и 2009 годов посадки (223 и 302 шт./м<sup>2</sup>, соответственно), что отразилось на урожайности культуры: наибольшая продуктивность *M. Sacchariflorus* получена на этих делянках. Результаты исследований свидетельствуют об отсутствии значительных различий урожайности культуры в зависимости от возраста плантации, по крайней мере, в течение 10–14 лет ее функционирования, что доказывает возможность длительного бессменного выращивания культуры (Якименко и др., 2021; Капустянчик, 2023).

Влажность биомассы *M. Sacchariflorus*, убранной осенью составляла 20–23% и не отличалась от влажности биомассы, собираемой ранней весной. Данное свойство позволяет хранить собранную биомассу без дополнительной сушки.

В отличие от влажности, количество надземной биомассы существенно зависит от времени сбора урожая. На территории зарубежных стран уборка культуры может проводиться в осеннее, зимнее и весеннее время, в континентальных условиях Сибири – осенью или весной следующего года. В зарубежных исследованиях (Zub et al., 2011; Dohleman et al., 2012) при сборе урожая осенью значения продуктивности возрастают в 1,5 раза для *M. Sacchariflorus*. В наших исследованиях также отмечена

более высокая урожайность при уборке осенью (рис. 2); в среднем урожайность осенью составляла 12,5 т/га, весной – 6,8 т/га, что связано с потерей листьев и части стеблей к весеннему периоду. К потерям также относят пожнивные остатки при уборке (стерня), которые составляют в среднем от 0,5 до 2,5 т/га сухого вещества. Таким образом, продуктивность *M. Sacchariflorus*, складывающаяся из надземной и подземной биомассы, во многом определяется влиянием биотических (агротехнических) факторов.



Рисунок 2. Осенняя уборка надземной биомассы *M. Sacchariflorus* сорт Сорановский.

**Изменение эффективного плодородия почвы на разновозрастных посадках *M. sacchariflorus*.** Исследуемые почвы в естественном состоянии обладают невысоким уровнем плодородия (Сысо и др., 2010). Так, содержание гумуса в исходной почве составляло 1,0–1,1% и не изменялось во все последующие годы. Выращивание *M. sacchariflorus* в течение 11 лет способствовало повышению содержания гумуса в почве агроценоза (табл. 3), как по сравнению с исходной старопашотной почвой, так и соседним парующимся участком. Отметим, что количество гумуса в почве под *M. sacchariflorus* возросло не только в верхнем, но и в нижележащих почвенных слоях. Реакция почвенного раствора при длительном выращивании *M. sacchariflorus* не изменилась по сравнению, как с исходной старопашотной почвой, так и с почвой сопутствующего пара; рН водной суспензии везде равнялась 5,75.

Таблица 3

Содержание гумуса в почве опыта после 11 лет выращивания *M. sacchariflorus* (делянки 2009 года посадки, отбор почвенных образцов в 2019 году)

Слой почвы, см	<i>M. sacchariflorus</i>	Пар
0–20	1,37	0,96
20–40	1,08	0,79
40–60	0,53	0,41
60–80	0,37	0,23
80–100	0,31	0,21
НСП <sub>05</sub>	0,15	

В целом, исследования показали очевидную перспективность выращивания *M. sacchariflorus* на низко продуктивных землях, препятствуя их прогрессирующей деградации, улучшая эколого-агрохимическое состояние агроценозов и обеспечивая агрономическую целесообразность производства.

**Агроэкологическая оценка структурного состояния почв в разновозрастных посадках *M. sacchariflorus*.** Структуру почвы оценивают количественно по распределению почвенных агрегатов на фракции определенного размера (диаметра); для разделения этих фракций проводят ситовой анализ.

**Оценка структуры почвы методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову.** В опыте на разновозрастных посадках *M. sacchariflorus* структурно-агрегатный состав почвы в слое 0–20 см определялся в 2020 г., что соответствует 16-му, 12-му и 6-му годам после закладки опытов 2005, 2009 и 2015 годах (табл. 4).

Наибольшая структурность почвы отмечена под *M. sacchariflorus* 2005 г. посадки – показатели содержания ценных структур (10–0,25 мм) были высокими и составляли в слое почвы 0–20 см 69–72%. На участке 2009 г. посадки значения сохранялись в пределах 63–65%, 2015 г. посадки – 56–59%. На парующемся участке при ежегодной вспашке показатели были самыми низкими и составили 46–48%. Наши результаты подтверждаются исследованиями Я.Т. Суяндукова с соавторами (2016) по изучению трав естественной степи, в которых показатель содержания агрономически ценных структур составлял 70–85%.

Таблица 4

Агрегатный состав серой лесной супесчаной почвы под разновозрастными посадками *M. sacchariflorus* в слое 0–20 см (результаты сухого просеивания по методу Саввинова)

Вариант	Размеры структур (мм), содержание (%)								
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25
2005 г.	25,7±1,8	12,6±0,9	10,6±0,85	13,3±0,4	9,7±0,4	16,0±0,1	3,6±0,9	4,7±0,4	3,7±0,4
2009 г.	26,0±1,3	11,9±1,0	10,1±0,1	12,9±0,4	8,5±0,7	12,2±0,7	4,0±1,0	5,0±1,2	9,0±0,4
2015 г.	29,2±0,5	11,5±0,9	8,6±0,5	11,7±0,4	6,2±0,7	9,7±0,6	3,1±0,5	6,3±0,5	13,1±1,8
пар	40,3±1,2	13,7±0,7	7,7±0,5	10,5±1,4	6,1±1,3	3,3±1,2	2,0±0,7	3,6±0,1	12,8±0,7

Наши исследования структурного состава почв показали значительные колебания значений агрономически ценных структур в зависимости от возраста посадок (см. табл. 4). Некоторые авторы (Ковда, 1973) относят к самым ценным агрегатам размером 5–1 мм. В наших опытах наиболее высокое количество агрегатов данной фракции отмечено под *M. sacchariflorus* 2005 г. посадки (39%); почва под паром имела наименьшее содержание таких агрегатов (20%). Максимальная доля глыбистой фракции (>10 мм), являющейся показателем ухудшения структуры, отмечена в почве под паром; под посадками *M. sacchariflorus* на всех вариантах отмечалась наименьшая глыбистость. Наибольшая распыленность структурных агрегатов (менее 0,25 мм) наблюдалась на участке под паром и почвах под *M. sacchariflorus* 2015 года посадки.

Важным показателем качества структуры является **коэффициент структурности ( $K_{стр}$ )**, рассчитываемый как отношение количества агрономически ценных агрегатов к агрономически не ценным. Для качественной оценки структуры использовали агрономически ценный диапазон 10–0,25 мм и  $K_{стр}$  (табл. 5). Результаты оценки структуры показали, что структурное состояние почвы под *M. sacchariflorus* на более возрастных участках (2005 и 2009 гг.) характеризовалось как хорошее, на участке под паром и с *M. sacchariflorus* 2015 г. посадки – как удовлетворительное.

Таблица 5

Оценка структурного состава почв (оценка сухого просеивания проведена по методу Саввинова)

Вариант опыта	Содержание агрономически ценных агрегатов (размер структур 10–0,25 мм), %	Коэффициент структурности ( $K_{стр}$ )	Оценка агрегатного состояния
2005	71	2,40	хорошее / хорошее
2009	64	1,77	хорошее / хорошее
2015	58	1,21	удовлетворительное / удовл.
пар	47	0,98	/ удовл. / удовл.

Примечание.

В оценке агрегатов через дробь записаны показатели содержания структурных отдельностей / показатели коэффициентов (классификация приведена по: Белоусова, 2022).

Таким образом, сухой рассев показал, что в корнеобитаемом слое *M. sacchariflorus* (0–20 см) было выявлено значительное содержание (свыше 58%) агрегатов агрономически ценной фракции. Агроэкологическая оценка по результатам сухого просеивания позволяет считать, что структурное состояние почвы под *M. sacchariflorus* на более возрастных посадках (2009 и 2005 годы посадки) практически восстановилось до естественных целинных характеристик.

**Оценка водоустойчивости агрегатов.** Важным показателем структуры почвы является ее водоустойчивость или водопрочность, т.е. способность агрегатов противостоять разрушению при воздействии воды. Почвы, имеющие водопрочную структуру, обладают благоприятным для развития растений водно-воздушным режимом, хорошо впитывают влагу и воздух, не подвергаются

воздействию эрозионных процессов. Оценка водопрочности осуществлялась прибором И.М. Бакшеева (метод качания сит). Мокрое просеивание показало, что водопрочность агрегатов достаточно выровнена по вариантам опыта и колеблется в пределах от 50 до 83% (табл. 6). Формированию структуры с повышенной водопрочностью способствовали многолетние посадки *M. sacchariflorus* (2005 и 2009 гг.).

Таблица 6

Оценка различными методами водопрочности структуры под разновозрастными посадками *M. sacchariflorus* в слое почвы 0–20 см (результаты просеивания по методу Саввинова)

Вариант	Размеры структур 10-0,25 мм при сухом просеивании, содержание (%)	Размеры структур >0,25 мм при мокром просеивании, содержание (%)	Оценка по И.В. Кузнецовой	Оценка по Долгову С.И. и Бахтину П.У.
2005 г.	70,6±2,4	83,2±1,9	избыточно высокая	отличная
2009 г.	64,0±1,8	82,3±1,3	избыточно высокая	отличная
2015 г.	57,6±1,2	65,8±1,8	отличная	хорошая
пар	46,9±0,9	50,4±2,0	хорошая	удовл.

Примечание.

Классификация оценки агрегатного состояния предложена И.В. Кузнецовой (Белоусова, 2022).

Для большей информативности показателя оценки водопрочности, его расчёт был произведён различными методами (см. табл. 6). Согласно полученным данным, наиболее чувствительными критериями оказались коэффициенты оценки по И.В. Кузнецовой, а также по С.И. Долгову и П.У. Бахтину, показывающие наибольшую информативность оценки водопрочности структуры. Водопрочность агрегатов закономерно ухудшается в направлении от возраста посадок к пару: под старыми посадками *M. sacchariflorus* водопрочность оценивается на «отлично», под паром «удовлетворительно». За 16-летний период произошло значительное увеличение содержания агрономически ценных агрегатов, хотя и на 9-ый, и 6-ой годы произрастания *M. sacchariflorus* значения структурного состава почвы остаются в пределах категории хорошее. Почва под паром характеризуется повышенной глыбистостью и распылённостью.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Изучению продуктивности *M. sacchariflorus* посвящён ряд зарубежных исследований. Многие авторы (Zub et al., 2011; Gauder et al., 2012) отмечают низкую продуктивность надземной биомассы – от 6 до 26 т/га. В других исследованиях (Dohleman et al., 2012) приводят более высокую продуктивность (38 т/га) по сравнению с результатами, полученными в наших исследованиях. Такое варьирование в урожайности надземной биомассы можно объяснить разными агроэкологическими условиями, видами *Miscanthus* и сроками уборки, так как зимняя и весенняя уборка биомассы способствовала снижению уровня урожайности за счёт старения и опадения листьев и стеблей.

Что касается подземной биомассы, то у ряда исследователей в Европе и США, определён диапазон продуктивности подземной биомассы от 6 до 13 т/га (Dohleman et al., 2012; Christensen et al., 2016). Отмечены и более высокие значения, достигающие 25–27 т/га на глубине до 25 см, а при использовании полива – до 37 т/га (Mann et al., 2013; Christensen et al., 2016). В наших исследованиях продуктивность подземной биомассы была невысокой (8–9 т/га) по сравнению с зарубежными исследователями. Огромную роль в приросте корневой системы играют абиотические и биотические факторы.

Содержание углерода в надземной биомассе варьировало от 43 до 49%, в зависимости от видовой принадлежности и агроэкологических условий местности (Khodier et al., 2012; Carvalho et al., 2017; Bilandžija et al., 2021; 2022). Эти результаты соответствуют нашим данным (45% для надземной и 43% для подземной биомассы в слое 0–20 см), полученным в условиях лесостепи Новосибирского Приобья. Корневая система в виде корневищ и корней учитывалась только на глубине 0–25 см. Часть корневой системы, расположенная ниже 25 см и представляющая собой корни, не учтена и, возможно, запасы углерода в подземной биомассе выше, чем то, что определено нами.

Повышение плодородия почвы является важным аспектом её экологического восстановления за счёт выращивания *Miscanthus*. Органическое вещество почвы играет центральную роль в поддержании

ее плодородия, поскольку оно выполняет жизненно важные функции экосистемы, такие как формирование почвенной структуры. Известно, что выращивание *Miscanthus* может увеличить запасы органического углерода в почве (Chen et al., 2020; Zhao Q. et al., 2020; Xu Yi et al., 2021). В зарубежных исследованиях был показан почвоулучшающий эффект от выращивания *Miscanthus* за 4 года вегетации (Xu Yi et al., 2021). В наших исследованиях также установлена закономерность изменения качества почвы при использовании *Miscanthus*. *Miscanthus* является многолетним растением и обычно ему требуется несколько лет, чтобы достичь максимальной урожайности. После 3 лет выращивания (после посадки) урожай надземной биомассы культуры достигает максимального значения. Тем не менее, потенциал *Miscanthus* для улучшения почвы все ещё может увеличиваться благодаря продолжающемуся росту подземных корней и корневищ. Было обнаружено, что соотношение корневой системы и надземных побегов *Miscanthus* увеличивается с возрастом насаждения из-за того, что со временем в подземные слои попадает больше биомассы (Zhao S. et al., 2020; Zhao Q. et al., 2020.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в многолетних полевых исследованиях установлена эффективная возможность выращивания *M. sacchariflorus* в лесостепи Новосибирского Приобья: ежегодная урожайность составляла 10–15 т сухой массы с 1 га. Показана возможность бесменного выращивания культуры на одном участке в течение 14 и более лет без снижения урожайности; подтверждена способность *M. sacchariflorus* эффективно произрастать на почвах с низким уровнем плодородия. Длительное (более 14 лет) выращивание культуры на малоплодородных почвах привело к увеличению накопления органической массы, улучшению гумусного состояния почв в процессе функционирования агроценоза и положительно отразилось на почвенной структуре. За 11 лет бесменного выращивания *M. sacchariflorus* на почве лёгкого гранулометрического состава содержание в ней гумуса увеличилось на 0,3–0,4%; выявлена положительная средообразующая способность *M. Sacchariflorus*, позволившая заметно улучшить физические свойства почвы исследуемого участка.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственных заданий Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиала ИЦиГ СО РАН (проект № FWNR-2022-0018) и Института почвоведения и агрохимии СО РАН (проект № 121031700309-1).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Белоусова Е.Н. Лабораторный практикум по агрономической химии. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. 259 с.
- Зеленова Н.А., Муратова А.Ю., Плешакова Е.В. Выделение из корневой зоны *Miscanthus giganteus* ризобактерий, проявляющих устойчивость к тяжелым металлам и стимулирующей рост растений // Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов: сборник тезисов конференции (Пушино, 6–9 декабря 2021 г.) / Т.А. Решетилова (отв. ред.). Москва: ООО «Издательство ГЕОС», 2021. С. 61–63.
- Капустянчик С.Ю. Влияние посадок мискантуса на свойства серой лесной супесчаной почвы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.
- 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: <https://doi.org/10.31857/S0002188120090082>.
- Капустянчик С.Ю., Якименко В.Н. Мискантус – перспективная сырьевая, энергетическая и фитомелиоративная культура (литературный обзор) // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. с.126. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126>.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. Москва: Наука, 1973. Кн. 2. 468 с.
- Сакович Г.В., Михайлов Ю.М., Будаева В.В., Корчагина А.А., Гисматулина Ю.А., Козырев Н.В. Нитраты целлюлозы из нетрадиционных видов сырья // Доклады академии наук. 2018. Том 483. № 3. С. 283–287. DOI: <https://doi.org/10.31857/S086956520003249-6>.
- Самофалова И.А., Лобанова Е.С. Почвоведение: лабораторный практикум. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021. 139 с.

- Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф. Агроэкологический анализ структурного состояния и оптимизация свойств черноземов Зауралья при фитомелиорации / Б.М. Миркина (отв. ред.). Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2016. 240 с.
- Сысо А.И., Смоленцев Б.А., Якименко В.Н. Почвенный покров Новосибирского Академгородка и его агроэкологическая оценка // *Сибирский экологический журнал*. 2010. Том 17. № 3. С. 363–377.
- Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Шмакова Е.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Магомедова Л.Н., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н. В., Тишков А.А., Ти Тран, Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. 2-е издание, исправленное и дополненное. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.
- Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // *Почвоведение*. 2019. № 2. С. 184–193. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>.
- Якименко В.Н., Капустянчик С.Ю., Галицын Г.Ю. Возделывание мискантуса в континентальных регионах России // *Земледелие*. 2021. № 2. С. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10206>.
- Bilandžija D., Bilandžija N., Zgorelec Ž. Sequestration potential of energy crop *Miscanthus x giganteus* cultivated in continental part of Croatia // *Journal of Central European Agriculture*. 2021. Vol. 22. No. 1. P. 188–200. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2776>.
- Bilandžija D., Stuparić R., Galić M., Zgorelec Ž., Letoand J., Bilandžija N. Carbon Balance of *Miscanthus* Biomass from Rhizomes and Seedlings // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Iss. 6. P. 1426. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061426>.
- Carvalho J.L.N., Hudiburg T., Franco H.C.J., DeLucia E.H. Contribution of above- and belowground bioenergy crop residues to soil carbon // *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9. Iss. 8. P. 1333–1343. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12411>.
- Chen Y., Tian W., Shao Y., Li Y.-J., Lin L.-A., Zhang Y.-J., Han H., Chen Z.-J. *Miscanthus* cultivation shapes rhizosphere microbial community structure and function as assessed by Illumina MiSeq sequencing combined with PICRUSt and FUNGUId analyses // *Archives of Microbiology*. 2020. Vol. 202. P. 1157–1171. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01830-1>.
- Christensen B.T., Lærke P.E., Jørgensen U., Kandel T.P., Thomsen I.K. Storage of *Miscanthus*-derived carbon in rhizomes, roots, and soil // *Canadian Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 96. No. 4. P. 354–360. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0135>.
- Dohleman F.G., Heaton E.A., Arundale R.A., Long S.P. Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons // *Global Change Biology Bioenergy*. 2012. Vol. 4. Iss. 5. P. 534–544. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01153.x>.
- Gauder M., Graeff-Hönniger S., Lewandowski I., Claupein W. Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany // *Annals of Applied Biology*. 2012. Vol. 160. Iss. 2. P. 126–136. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00526.x>.
- Khodier A., Hussain T., Simms N., Oakey J., Kilgallon P. Deposit formation and emissions from cofiring *Miscanthus* with Daw Mill coal: Pilot plant experiments // *Fuel*. 2012. Vol. 101. P. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.029>.
- Mann J.J., Barney J.N., Kyser G.B., DiTomaso J.M. Root system dynamics of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* in response to rainfed and irrigated conditions in California // *BioEnergy Research*. 2013. Vol. 6. P. 678–687. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9287-y>.
- Xu Yi, Zheng Ch., Liang L., Zili Yi, Xue Sh. Quantitative assessment of the potential for soil improvement by planting *Miscanthus* on saline-alkaline soil and the underlying microbial mechanism // *Global Change Biology Bioenergy*. 2021. Vol. 13. Iss. 7. P. 1191–1205. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12845>.
- Zhao C., Fan X., Li X., Hou X., Zhang W., Yue Y., Wu J. *Miscanthus sacchriflorus* exhibits sustainable yields and ameliorates soil properties but potassium stocks without any input over a 12-year period in China // *Global Change Biology Bioenergy*. 2020. Vol. 12. Iss. 8. P. 556–570. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12700>.
- Zhao Q., Bai J., Gao Y., Zhao H., Zhang G., Cui B. Shifts in the soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta // *Land Degradation and Development*. 2020. Vol. 31. Iss. 16. P. 2255–2267. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3594>.
- Zub H., Arnoult S., Brancourt-Hulmel M. Key traits for biomass production identified in different *Miscanthus* species at two harvest dates // *Biomass Bioenergy*. 2011. Vol. 35. Iss. 1. P. 637–651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.020>.

Поступила 14.12.2023  
Принята 03.02.2024  
Опубликована 15.02.2024

#### Сведения об авторах:

**Капустянчик Светлана Юрьевна** – доктор сельскохозяйственных 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» (р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия); [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

**Якименко Владимир Николаевич** – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto: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/)

## Assessment of the long-term impact of *Miscanthus sacchariflorus* culture on soil properties

© 2024 S. Yu. Kapustyanchik <sup>1</sup>, V. N. Yakimenko <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Research Institute for Plant Industry and Breeding, a Branch of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of 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, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto:yakimenko@issa-siberia.ru)

**The aim of the study** was to assess the effect of different-age plantations of *Miscanthus sacchariflorus* cv. Soranovsky on the gray forest soil properties in the forest-steppe of West Siberia, Russia.

**Location and time of the study.** The experimental part of the research was carried out at the Research Experimental Station of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk) in 2018-2020.

**Methodology.** The methods employed in the study were the most common ones for chemical and physical analyses of soils and plant samples.

**Results.** Differently aged plantations of *Miscanthus sacchariflorus* allowed obtaining 12-15 tons of dry mass per 1 hectare for 14 or more years without reducing the productivity. *Miscanthus sacchariflorus* can grow effectively in soils with low fertility. The humus content in light-textured soil increased by 0.3-0.4% over 11 years of *Miscanthus* growth, as compared with the fallow soil. *Miscanthus sacchariflorus* plantations showed a positive environment-forming effect, favourably affecting ecological and agronomic soil properties of the agrocenoses.

**Conclusions.** *Miscanthus* has broad adaptation potential in relation to low-fertility lands, preventing their progressive degradation, improving the ecological and agrochemical state of the ecosystems and facilitating agronomic production. *Miscanthus* has a beneficial environment-forming effect on low-fertility soils by enriching them with mineral nutrients and improving their humus and texture condition.

**Keywords:** *Miscanthus sacchariflorus* cv. Soranovsky; gray forest soil; productivity; soil texture; water resistance of aggregates.

**How to cite:** Kapustyanchik S.Yu., Yakimenko V.N. Assessment of the long-term effect of *Miscanthus sacchariflorus* growth on soil properties. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(1). e241 (in Russian with English abstract). DOI: [10.31251/pos.v7i1.241](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.241)

#### FUNDING

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects No. FWNR-2022-0018 and No. 121031700309-1).

#### REFERENCES

Belousova E.N. Laboratory workshop on agronomic chemistry. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2022. 259 p. (in Russian).

- Zelenova N.A., Muratova A.Yu., Pleshakova E.V. Isolation of rhizobacteria from the root zone of *Miscanthus giganteus* that exhibit resistance to heavy metals and stimulate plant growth. In book: Biochemistry, physiology and the biosphere role of microorganisms. Collection of conference abstracts (Pushchino, 6–9 December, 2021) / T.A. Reshetilova (ed.). Moscow: LLC Publishing House GEOS, 2021. P. 61–63. (in Russian).
- Kapustyanchik S.Yu. Influence of miscanthus plantings on the properties of gray forest sandy soil. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023. P. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).
- 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. *Agrokhimia*. 2020. No. 9. P. 65–73. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120090082>. (in Russian).
- Kapustyanchik S.Yu., Yakimenko V.N. Miscanthus is promising raw material, energy and phytomeliorative crop. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 3. e126. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126>. (in Russian).
- Kovda V.A. Fundamentals of the study of soils. Moscow: Nauka Publ., 1973. Book. 2. 468 p. (in Russian).
- Sakovich G.V., Mikhailov Yu.M., Budaeva V.V., Korchagina A.A., Gismatulina Yu.A., Kozyrev N.V. Cellulose Nitrates from Unconventional Feedstocks. *Doklady Chemistry*. 2018. Vol. 483. No. 1. P. 287–291. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0012500818110101>.
- Samofalova I.A., Lobanova E.S. Soil science: laboratory workshop. Perm: IPC “Prokrost”, 2021. 139 p. (in Russian).
- Suyundukov Ya.T., Khasanova R.F. Agroecological analysis of the structural state and optimization of the properties of chernozems in the Trans-Ural region during phytomelioration / B.M. Mirkina (ed.). Ufa: Gilem, Bashk. encycl., 2016. 240 p. (in Russian).
- Syso A.I., Smolentsev B.A., Yakimenko V.N. The soil cover of Novosibirsk Akademgorodok and its eco-agricultural assessment. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. Vol. 3. No. 3. P. 253–264. DOI: <https://doi.org/10.1134/S199542551003001X>.
- Titlyanova A.A., Bazilevich N.I., Shmakova E.I., Snytko V.A., Dubynina S.S., Magomedova L.N., Nefedyeva L.G., Semenyuk N.V., Tishkov A.A., Ti Tran, Khakimzyanova F.I., Shatokhina N.G., Kyrgys Ch.O., Sambuu A.D. Biological productivity of grasslands. Geographical regularities and ecological features. 2nd edition, corrected and amended. Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2018, 110 p. (in Russian).
- Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Y.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Frid A.S., Aydiev A.Y., Lazarev V.I. Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizons of chernozems in response to the type of their use. *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 2. P. 162–170. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319020066>.
- Yakimenko V.N., Kapustyanchik S.Yu., Galitsyn G.Yu. Cultivation of miscanthus in continental regions of Russia. *Zemledelie*. 2021. No. 2. P. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10206>. (in Russian).
- Bilandžija D., Bilandžija N., Zgorelec Ž. Sequestration potential of energy crop *Miscanthus x giganteus* cultivated in continental part of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*. 2021. Vol. 22. No. 1. P. 188–200. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2776>.
- Bilandžija D., Stuparić R., Galić M., Zgorelec Ž., Letoand J., Bilandžija N. Carbon Balance of *Miscanthus* Biomass from Rhizomes and Seedlings. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Iss. 6. P. 1426. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061426>.
- Carvalho J.L.N., Hudiburg T., Franco H.C.J., DeLucia E.H. Contribution of above- and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9. Iss. 8. P. 1333–1343. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12411>.
- Chen Y., Tian W., Shao Y., Li Y.-J., Lin L.-A., Zhang Y.-J., Han H., Chen, Z.-J. *Miscanthus* cultivation shapes rhizosphere microbial community structure and function as assessed by Illumina MiSeq sequencing combined with PICRUSt and FUNGUId analyses. *Archives of Microbiology*. 2020. Vol. 202. P. 1157–1171. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01830-1>.
- Christensen B.T., Lærke P.E., Jørgensen U., Kandel T.P., Thomsen I.K. Storage of *Miscanthus*-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 96. No. 4. P. 354–360. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0135>.
- Dohleman F.G., Heaton E.A., Arundale R.A., Long S.P. Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons. *Global Change Biology Bioenergy*. 2012. Vol. 4. Iss. 5. P. 534–544. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01153.x>.

Gauder M., Graeff-Hönninger S., Lewandowski I., Claupein W. Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany. *Annals of Applied Biology*. 2012. Vol. 160. Iss. 2. P. 126–136. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00526.x>.

Khodier A., Hussain T., Simms N., Oakey J., Kilgallon P. Deposit formation and emissions from cofiring *Miscanthus* with Daw Mill coal: Pilot plant experiments. *Fuel*. 2012. Vol. 101. P. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.029>.

Mann J.J., Barney J.N., Kyser G.B., DiTomaso J.M. Root system dynamics of *Miscanthus* × *giganteus* and *Panicum virgatum* in response to rainfed and irrigated conditions in California. *BioEnergy Research*. 2013. Vol. 6. P. 678–687. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9287-y>.

Xu Yi, Zheng Ch., Liang L., Zili Yi, Xue Sh. Quantitative assessment of the potential for soil improvement by planting *Miscanthus* on saline-alkaline soil and the underlying microbial mechanism. *Global Change Biology Bioenergy*. 2021. Vol. 13. Iss. 7. P. 1191–1205. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12845>.

Zhao C., Fan X., Li X., Hou X., Zhang W., Yue Y., Wu J. *Miscanthus sacchriflorus* exhibits sustainable yields and ameliorates soil properties but potassium stocks without any input over a 12-year period in China. *Global Change Biology Bioenergy*. 2020. Vol. 12. Iss. 8. P. 556–570. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12700>.

Zhao Q., Bai J., Gao Y., Zhao H., Zhang G., Cui B. Shifts in the soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta. *Land Degradation and Development*. 2020. Vol. 31. Iss. 16. P. 2255–2267. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3594>.

Zub H., Arnoult S., Brancourt-Hulmel M. Key traits for biomass production identified in different *Miscanthus* species at two harvest dates. *Biomass Bioenergy*. 2011. Vol. 35. Iss. 1. P. 637–651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.020>.

Received 14 December 2023

Accepted 03 February 2024

Published 15 February 2024

#### About the authors:

**Svetlana Yu. Kapustyanchik** – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher in the Sector of Introduction and Technologies of Cultivation of Agricultural Crops of the Siberian Research Institute for Plant Industry and Breeding, Branch of the Federal Research Center the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Russia); [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

**Vladimir N. Yakimenko** – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (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/)