



DOI: 10.30901/2658-3860-2019-4-35-49

УДК: 633.5:631.529

Поступила: 21.11.2019

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ**Л. В. Багмет**

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
e-mail: l.bagmet@vir.nw.ru

**Е. А. Дзюбенко**

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
e-mail: elena.dzyubenko@gmail.com

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* (POACEAE) НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Мискантус сахароцветный (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch.) – один из самых перспективных видов, биомасса которого пригодна для производства биотоплива. Однако его широкое использование для этих целей серьёзно осложнено, во-первых, требовательностью этого вида к теплу и влаге, а во-вторых, недостаточной изученностью его биологии. По результатам собственных экспедиционных исследований и литературным данным были проанализированы климатические параметры и выявлены основные факторы, ограничивающие перспективность выращивания мискантуса сахароцветного. Установлено, что в условиях его естественного произрастания значения гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период варьируют от 1,49 до 2,9, сумма эффективных температур $>10^{\circ}\text{C}$ – от 1248,9 до 2493,1 $^{\circ}\text{C}$, количество среднемноголетней суммарной солнечной радиации – от 97,5 до 115 ккал/см 2 . На основании полученных данных построена карта потенциальных областей промышленного культивирования *M. sacchariflorus* на территории России, из которой видно, что для культивирования мискантуса сахароцветного пригодна не только область естественного произрастания вида на Дальнем Востоке, но и горные районы Северного Кавказа, а также отдельные районы юга Сибири и Европейской части России.

Ключевые слова: биоэнергетические культуры, *Miscanthus sacchariflorus*, потенциальная область культивирования, факторы среды.



L. V. Bagmet, E. A. Dzyubenko

N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
42-44, Bolshaya Morskaya St., St. Petersburg, 190000, Russia

e-mail: l.bagmet@vir.nw.ru; elena.dzyubenko@gmail.com

PREDICTION OF THE POTENTIAL CULTIVATION AREAS OF *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* IN THE RUSSIAN FEDERATION

Miscanthus sacchariflorus (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch. is one of the promising biofuel resources. However, its wide cultivation in Russia as a biofuel plant is limited by high heat and moisture demands of the species and insufficient information on the matter. Collecting mission and literature data on *M. sacchariflorus* natural distribution, as well as cultivation and climatic maps from the AgroAtlas were analyzed and limiting factors for the successful crop cultivation were detected. In the area of natural distribution of *Miscanthus*, the hydrothermal coefficient during the vegetation period varied from 1.49 to 2.9, the effective temperatures above 10°C from 1248.9 to 2493.1°C, and the amount of average solar radiation from 97.5 to 115 kkal/cm². On the base of the obtained data, the potential area for *M. sacchariflorus* industrial cultivation in Russia was mapped. Effective cultivation of the species is possible not only in the area of its natural distribution in the Far East, but also in the foothills of Northern Caucasus and in the South of Western Siberia. With sufficient humidification, some areas in the South of European Russia may be suitable for the purpose, too.

Key words: bioenergy crops, *Miscanthus sacchariflorus*, forecast area, climatic factors.

В современных условиях поиск альтернативных возобновляемых источников энергии – одна из самых актуальных многосторонних комплексных проблем существования человечества. Одна из сторон такого поиска может заключаться в изучении с точки зрения перспективного использования энергетически ценных растений.

Наиболее ценными в биоэнергетике считаются виды растений с C_4 типом фотосинтеза, поскольку они обладают способностью быстро наращивать биомассу. Однако растения с таким типом фотосинтеза в основном достаточно требовательны к теплу. Поэтому на первом этапе основной задачей перед нами стоял поиск наименее требовательных к этому фактору представителей флоры. Известно, что среди C_4 -многолетних злаков относительной холодостойкостью из большого разнообразия видов выделя-

ются два представителя рода мискантус (веерник) (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch. и *M. sinensis* Andersson).

Мискантус сахароцветный и м. китайский – крупные многолетние злаки, распространённые в природе в теплых умеренных широтах Восточной Азии (юг Дальнего Востока России, Восточный Китай, Корея, Япония). Мискантус гигантский (*M. giganteus*) – триплоидный стерильный гибрид *M. sacchariflorus* и *M. sinensis*. Вид достигает трех и более метров в высоту, плантации его способны вегетировать на одном месте в течение 25 лет и давать ежегодный урожай сухой массы, достигающий 12–18 т/га (Lewandowski et al., 2003; Gauder et al., 2012; Sacks et al., 2013; Kuptzov, Popov, 2015).

Исследования по интродукции мискантуса гигантского ведутся уже более 30 лет, разрабо-



таны модели его успешного культивирования на территории Европы (Clifton-Brown et al., 2001, 2008; Jensen et al., 2013). Однако распространение агрокультуры этого многолетника в более северные широты ограничено его низкой зимостойкостью (Dong et al., 2019). В связи с этим перспективным направлением его интродукции является поиск наиболее холодостойких образцов родительских видов.

Мискантус сахароцветный (рис. 1) представляет интерес и как самостоятельная энергетическая культура, в частности, он с успехом используется в производстве топливных брикетов и гранул (пеллет) (Lewandowski et al., 2003; Arnoult, Brancourt-Hulme, 2015). По энергетической цен-

ности тонна сухой массы мискантуса эквивалентна 400 кг сырой нефти (Kuptzov, Popov, 2015).

Перспективность использования человеком *M. sacchariflorus* этим не ограничена, он рассматривается как перспективное сырьё для производства целлюлозы и глюкозосодержащих сред в биотехнологии (Slyntko et al., 2013; Gismatulina et al., 2019). Кроме того, он имеет ценность как фитомелиорант, который можно выращивать на бедных и непригодных для возделывания других культур почвах (Zinchenko, Yashin, 2011). Более того, мискантус сахароцветный – это красивое декоративное растение, которое широко используется в ландшафтном дизайне под названием «камурская серебряная трава».



Рис. 1. Мискантус сахароцветный (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch.) в естественных фитоценозах на Дальнем Востоке России.

Fig. 1. *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch.) in natural plant communities in the Russian Far East.



Высокие требования, предъявляемые мискантусом сахароцветным к степени влагообеспеченности (зона избыточного увлажнения по Г. Т. Селянинову) (Selyaninov, 1928) и теплу, при которых вид способен продуцировать большую биомассу, создают проблему при подборе оптимальных районов выращивания. Особенно сложен для культуры первый год посадки, когда происходит накопление пластических веществ в корневищах и формирование ростовых почек (Clifton-Brown et al., 2000). С использованием математической модели изменения климата и учетом определённой требовательности мискантуса к условиям среды канадскими учёными (Hager et al., 2014) была построена карта возможных районов его распространения (рис. 2). Целью исследования было выявление потенциальной области не только промышленного возделывания *M. sacchariflorus*, но и его использования в декоративных целях, а также возможной опасности его биологических инвазий.

На карте представлены фактические (точки) и моделируемые (затененные области) места произрастания мискантуса в природной среде

и в культуре. Жёлтым цветом обозначены точки естественного произрастания вида с опубликованными координатами; красным – точки естественного произрастания вида с координатами, определёнными по географическим данным; зелёным – точки культурного выращивания вида с опубликованными координатами; синим – точки культурного выращивания вида с координатами, определёнными по географическим данным. Плотность затенения областей показывает биоклиматическую пригодность региона для агрокультуры *M. sacchariflorus*, (белые области – территория не подходит для выращивания, светло-серые области – территория слабо подходит для выращивания; темно-серые области – территория хорошо подходит для выращивания вида).

Из карты следует, что наиболее пригодны для возделывания мискантуса на территории России и сопредельных стран Прибалтика, Белоруссия, Украина, районы Черноморского побережья Грузии, западные области европейской части России, Краснодарский край, юг Приморья и Сахалина.

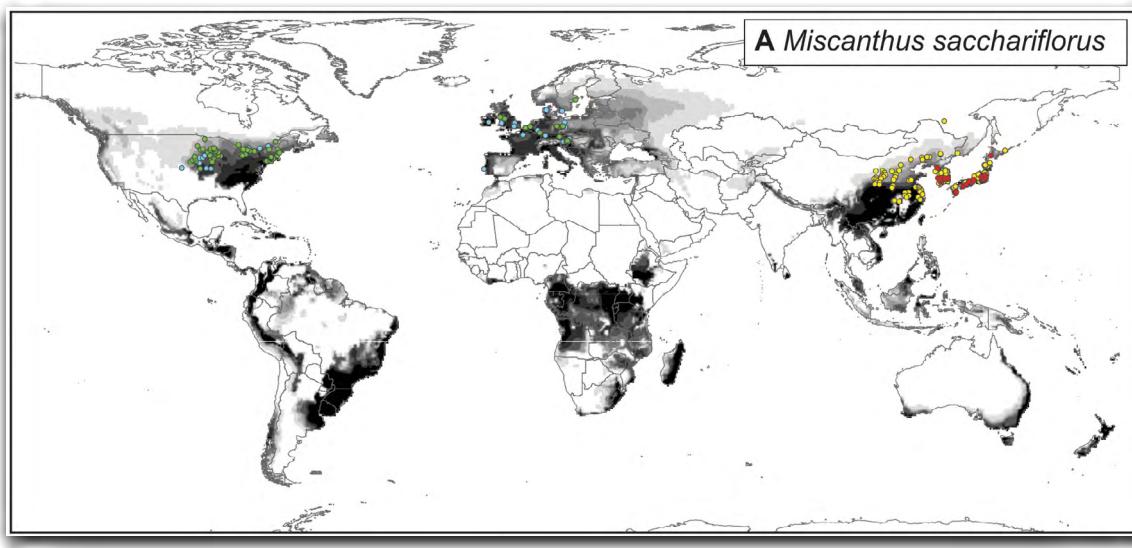


Рис. 2. Мировое распространение мискантуса сахароцветного, реальное и потенциальное (по Hager et. al., 2014), легенда в тексте.

Fig. 2. World distribution of *Miscanthus sacchariflorus*, real and potential (according to Hager et al., 2014), designations are given in the text.



В России работы по интродукции мискантуса ведутся рядом научных учреждений, однако большинство исследований проводятся с *M. sinensis*. В Институте цитологии и генетики Сибирского отделения РАН (ИЦИГ СО РАН) в последнее время создана активно изучаемая коллекция мискантуса (Hodkinson et al., 2016; Dorogina et al., 2018; Dorogina et al., 2019). На основе имеющихся образцов там был создан сорт мискантуса китайского 'Сорановский', районированный в 2012 году (Slyntko et al., 2013).

Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН) проводил опыты по культивированию этого вида на серых лесных почвах на юге Подмосковья (Bulatkin et al., 2017). При выращивании мискантуса гигантского на опытных делянках в Пензенской области на третий год жизни этой культуры получена урожайность сухой массы, равная в пересчете 36 т/га, из чего был сделан вывод, что для получения высокого урожая мискантуса гигантского необходима сумма эффективных температур не менее 2600°C (Gushchina, Borisova, 2017; Gushchina et al., 2018). Исследования по оптимизации производства биомассы мискантуса в Российском государственном аграрном университете МСХА имени К.А. Тимирязева показали, что продуктивность мискантуса в европейской части России ограничена коротким вегетационным периодом, низким уровнем фотосинтетически активной радиации и недостатком влаги (Anisimov et al., 2016; Anisimov et al., 2017).

Материалы и методы

Для уточнения северных границ распространения видов мискантуса и сбора образцов, устойчивых к экстремальным факторам среды, в 2012 году была осуществлена совместная российско-американская экспедиция по территории российского Дальнего Востока (Сахалин-

ская область, Приморский и Хабаровский край, Еврейская АО). Обследование территории проводилось маршрутным методом, протяжённость маршрута составила около 4000 км.

Для построения карт распространения *M. sacchariflorus* были использованы географические координаты точек сбора экспедиционных образцов; информация о распространении вида по данным Гербария ВИР имени Н. И. Вавилова (WIR), Гербария Ботанического института имени В.Л. Комарова (LE) и литературные источники (Tzvelev, 1976; Vorobyev, 1982; Voroshilov, 1982; Probatova, 1985; Kachura, 1985; Belya, Morozov, 1995; Starchenko, 2001; Shlotgauer et al., 2001; Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014; Rubtsova, 2017; Darman, Veklich, 2019).

Карты распространения мискантуса сахароцветного построены с помощью компьютерных программ MapInfo и Agroatlas Viewer (Shumilin, Lee, 2009).

Результаты и обсуждение

По мнению многих исследователей (Williams, Douglas, 2011; Tsyganov, Klochkov, 2012; Hager et al., 2014; Gushchina, Borisova, 2017; Dorogina et al., 2018; Clark et al., 2019; Pignon et al., 2019), главными факторами, ограничивающими успешное промышленное культивирование *M. sacchariflorus*, являются показатели тепло- и влагообеспеченности. Для того, чтобы выявить территории, благоприятные по климатическим условиям для выращивания мискантуса, мы проанализировали аналогичные показатели в местах его естественного произрастания.

На основании собственных экспедиционных данных и литературных источников была построена карта точек произрастания *M. sacchariflorus* на территории российского Дальнего Востока (рис. 3).

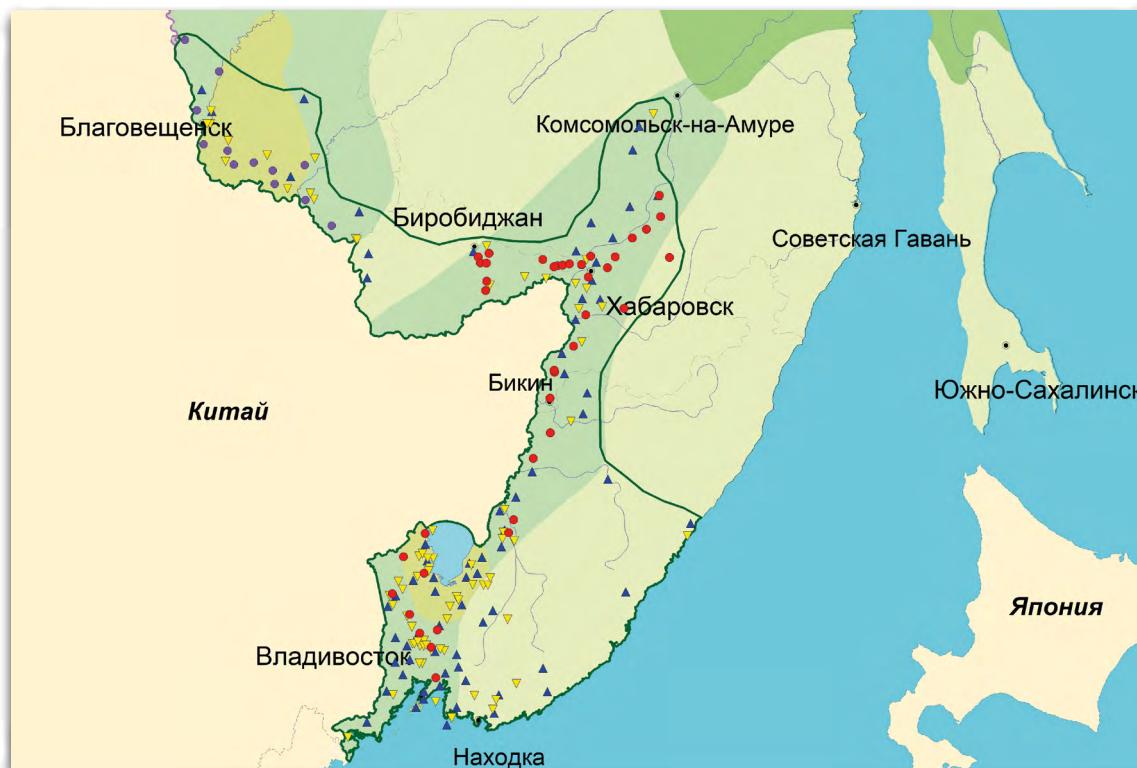


Рис. 3. Карта распространения мискантуса сахароцветного на российском Дальнем Востоке.
 (▲ – точки по Н. Н. Качуре (1985); ▼ – точки по гербарным данным (WIR, LE); ● – точки сбора экспедиционных образцов; ● – точки по Дарман, Веклич, 2019;
 ○ – северная граница ареала вида)

Fig. 3. Map of *Miscanthus sacchariflorus* distribution in the Russian Far East.
 (▲ – locations according to N. N. Kachura (1985); ▼ – locations according to herbarium data (WIR, LE);
 ● – collecting mission sites; ● – locations according to Darman, Veklich, 2019;
 ○ – northern border of the species distribution range)

Судя по результатам нашего исследования, на территории российского Дальнего Востока ареал мискантуса сахароцветного занимает площадь с севера на юг от $\sim 51,36^{\circ}\text{N}$ до юга Приморья ($\sim 42,65^{\circ}\text{N}$) и с запада на восток от $\sim 127,07^{\circ}\text{E}$ до $\sim 136,83^{\circ}\text{E}$. В Хабаровском крае по правому берегу реки Амур вид не заходит севернее п. Троицкое ($49,43^{\circ}\text{N}$). Наиболее северная популяция *M. sacchariflorus* была обнаружена в ходе нашей экспедиции в Нанайском районе Хабаровского края по берегам реки Анюй ($\sim 49,34^{\circ}\text{N}$) (Bagmet, Dzyubenko, 2013, Clark et al., 2016). По левому берегу Амура самая северная точка ($\sim 50,27^{\circ}\text{N}$) находится в окрестностях

города Амурска (LE). Дальше всего на север вид распространён в Амурской области. Здесь самая северная точка произрастания ($\sim 51,36^{\circ}\text{N}$) находится в окрестностях города Свободный (Kachura, 1985).

Наши наблюдения мискантуса сахароцветного показали, что этот вид хорошо распространяется по низинным лугам, в поймах и кустарниковых зарослях, предпочитая ровные пониженные и хорошо увлажнённые места с высоким стоянием грунтовых вод. Такая особенность распространения вида главным образом обусловлена тем, что основная масса корневищ залегает в почве не глубже 15 см (рис. 4).



Рис. 4. Корневища мискантуса сахароцветного.

Fig. 4. Rhizomes of *Miscanthus sacchariflorus*.

Все точки естественного произрастания вида были тщательно проанализированы с учётом возможностей агроэкологических карт основных климатических факторов «Агроэкологического атласа России и сопредельных стран» (Afonin et al, 2008). Для этого были использованы карты абсолютного температурного минимума и среднемноголетних температур января, среднемноголетних дат последних заморозков, суммы эффективных температур $>10^{\circ}\text{C}$, гидротермического коэффициента увлажнения Селянина-Валова (ГТК), среднемноголетней суммарной солнечной радиации, среднемноголетних дат разрушения устойчивого снежного покрова и перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C в период подъема температуры, среднемноголетнего количества дней в году с устойчивым снежным покровом.

Анализ агроэкологических карт показал, что в местах естественного произрастания мискантуса сахароцветного среднемноголетние данные по следующим параметрам колеблются в диапазонах: количество дней с устойчивым снежным покровом от 120 до 153; даты перехода средней суточной температуры через 0°C в период подъема температуры от 1 марта до 21 апреля; среднемноголетняя температура самого холодного зимнего месяца (января) от $-11,59^{\circ}\text{C}$ до $-30,1^{\circ}\text{C}$; даты разрушения устойчивого снеж-

ного покрова от 28 марта до 14 апреля, даты последних заморозков от 30 апреля до 2 июня. Абсолютный минимум температур января составляет от -35°C до -52°C .

Приведённые цифровые значения показывают, что образцы мискантуса из этой части ареала довольно устойчивы к минусовым температурам. Т.е. вышеперечисленные параметры не являются лимитирующими факторами для культивирования этого вида на большей части территории России.

При этом показатели тепло- и влагообеспеченности в течении вегетационного периода в точках произрастания мискантуса варьируют следующим образом: значения ГТК за вегетационный период от 1,49 до 3,4 (рис. 5), сумма эффективных температур $>10^{\circ}\text{C}$ – от 1248,9 до 2493,1 $^{\circ}\text{C}$ (рис. 6), количество среднемноголетней суммарной солнечной радиации – от 97,5 до 115 ккал/см 2 (рис. 7). Эти показатели были нами выбраны в качестве лимитирующих факторов. Учитывая положительный практический опыт выращивания мискантуса в Южной Сибири и в европейской части страны (Anisimov, 2016; Dorogina et al., 2018, 2019; Gushchina, Borisova 2017; Gushchina 2018), мы включили в зону потенциально возможного выращивания *M. sacchariflorus* территории с диапазоном ГТК от 1 до 1,49 с условием дополнительного полива в отдельные годы.

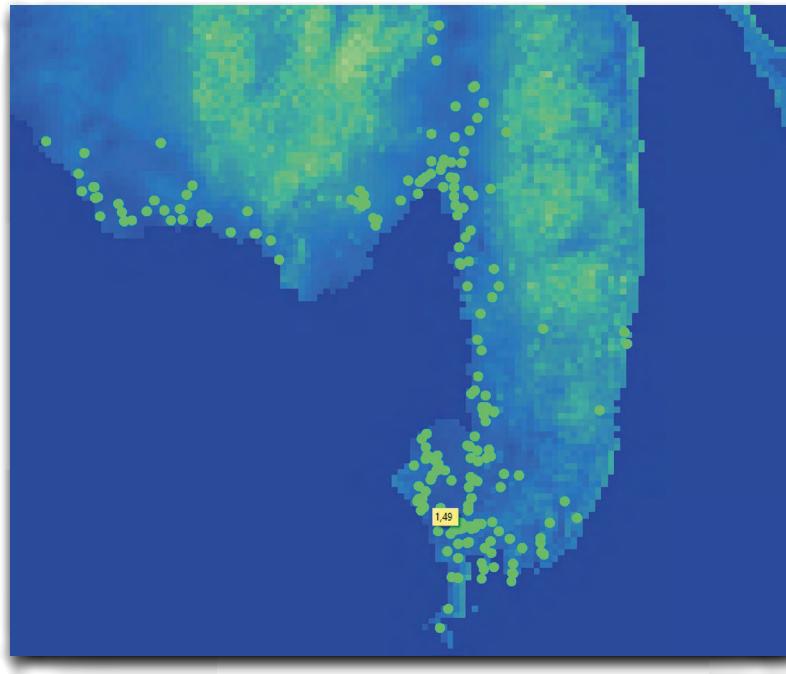


Рис. 5. Точка минимального значения гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК) для естественного произрастания мискантуса сахароцветного.

Fig. 5. Selyaninov's hydrothermal coefficient of humidification in natural growing areas of *Miscanthus sacchariflorus*.

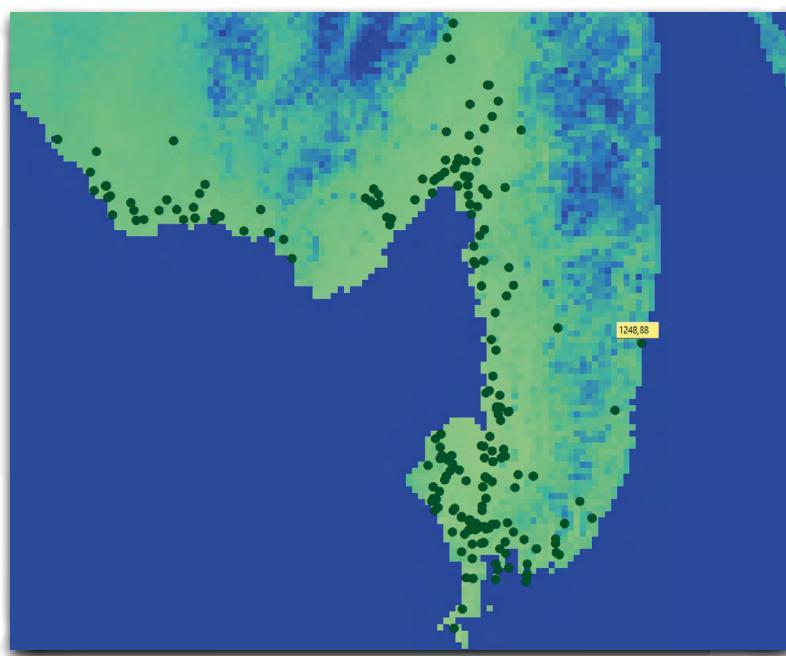


Рис. 6. Точка минимального значения суммы эффективных температур $>10^{\circ}\text{C}$ для естественного произрастания мискантуса сахароцветного.

Fig. 6. Sum of effective temperatures $>10^{\circ}\text{C}$ in natural areas of *Miscanthus sacchariflorus* growth.

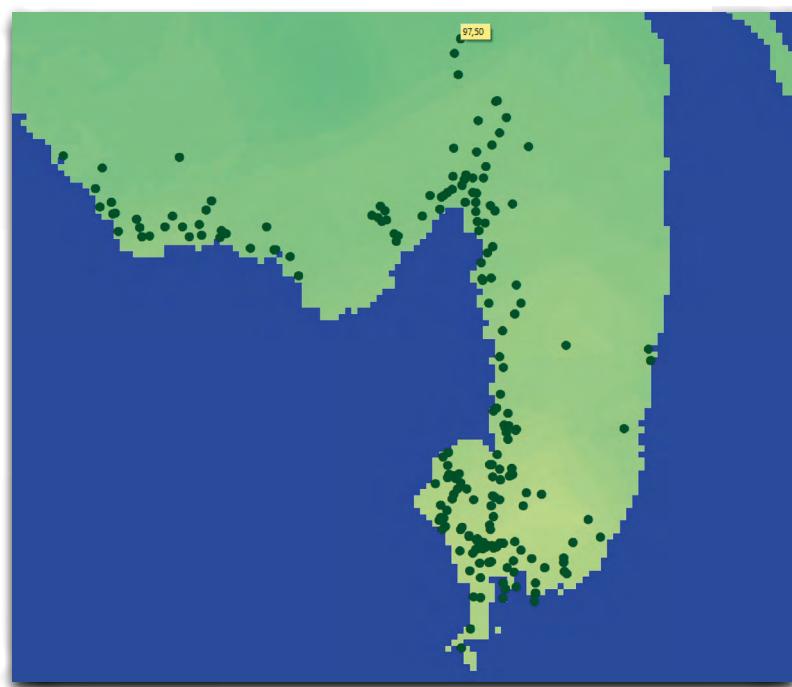


Рис. 7. Минимальное значение благоприятной среднемноголетней суммарной солнечной радиации для естественного произрастания мискантуса сахароцветного.

Fig. 7. The minimum value of favorable average long-term total solar radiation for the natural growth of *Miscanthus sacchariflorus*.

По заданным параметрам лимитирующих факторов была построена карта, на которой красным цветом выделены области, наиболее подходящие по условиям тепло- и влагообеспеченности для возделывания мискантуса. Следует отметить, что мы говорим здесь о рентабельном культивировании вида в промышленных целях. Зеленым цветом выделены области, в которых вполне возможно культивирование вида, однако в засушливые годы для получения высоких урожаев надземной массы здесь может понадобиться дополнительный полив. Потенциальная зона выращивания мискантуса сахароцветного на территории Российской Федерации состоит из очаговых полигонов (рис. 8, 9, 10).

Основные площади потенциального возделывания находятся на Дальнем Востоке России, в местах естественного произрастания вида (рис. 8). Здесь самая большая, простирающаяся от Иркутской области до Сахалина, благоприятная для его выращивания зона. Агрокультура мискантуса возможна практически по всей Еврейской автономной области и Приморско-

му краю, за исключением небольших площадей по Сихотэ-Алиню. В Хабаровском крае и на Сахалине интересующие нас территории ограничиваются 50 параллелью северной широты. К западу от Буреинского хребта область поднимается выше на север, занимает Амурско-Зейскую равнину и достигает Зейского водохранилища в Амурской области.

В Забайкальском крае для возделывания мискантуса хорошо подходят территории на границе с Амурской областью близ реки Амур. При продвижении на запад начинает ощущаться дефицит влаги, однако южные равнины и средневысотные нагорья края более или менее годны для культуры мискантуса. В более засушливой Бурятии мискантус тоже может выращиваться, однако на большинстве площадей урожай надземной массы будет меняться в зависимости от количества атмосферных осадков. В южных районах Иркутской области вполне благоприятные условия могут позволить выращивание мискантуса без дополнительного полива (рис. 8).

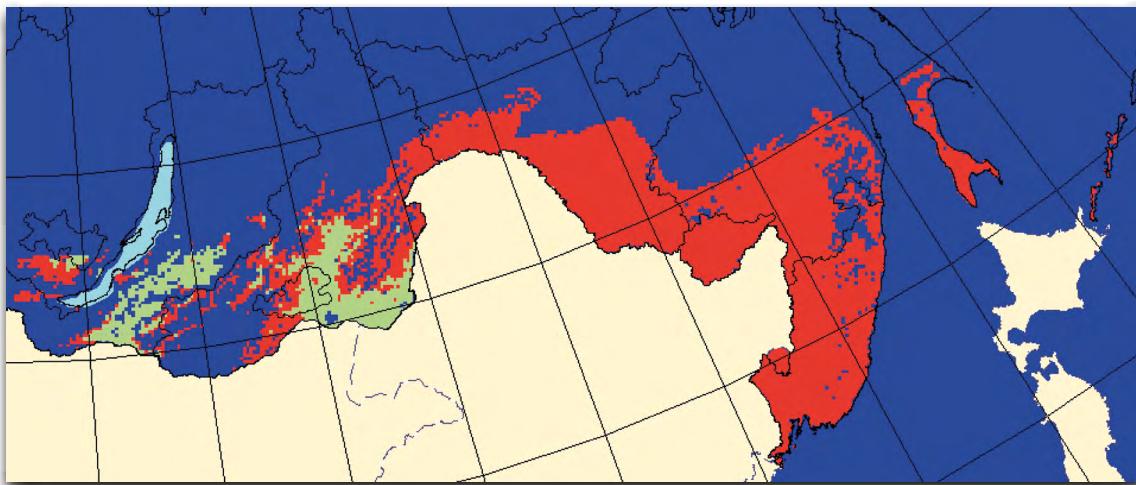


Рис. 8. Потенциальная зона промышленного выращивания мискантуса сахароцветного в Восточной Сибири (Иркутская область, Бурятия, Забайкальский край) и на Дальнем Востоке (Амурская область, Еврейская АО, Хабаровский край, Сахалинская область, Приморский край).

Fig. 8. Potential area of industrial cultivation of *Miscanthus sacchariflorus* in Eastern Siberia (Irkutsk Province, Buryatia, Transbaikal Territory), Far East (Amur Province, Jewish Autonomous Region, Khabarovsk Territory, Sakhalin, Sakhalin Province, Primorye Territory).

Небольшая область, подходящая для возделывания мискантуса, расположена на юге Сибири. Большая ее часть находится в Алтайском крае южнее Барнаула от Приобского плато до нижнего горного пояса. Отдельные участки уходят узкой полосой через север Горного Алтая, юг Кемеровской области и Хакасию в Красноярский край, где представлены в виде разрозненных точек. В Республике Тыва для обеспечения стабильных урожаев необходим дополнительный полив (рис. 9).

В Европейской части России области возможного возделывания мискантуса занимают приуроченные к лесостепной зоне небольшие участки от Курской до Челябинской областей. Для агрокультуры вида относительно пригодны: почти вся Воронежская область; юго-восток и приграничные с Украиной районы Белгородской области; южные районы Липецкой и Тамбовской областей; юг Башкирии и центральная часть Челябинской области. В Курской обла-

сти это совсем маленькая территория в окрестностях Старого Оскола и на границе с Воронежской областью. Подобные небольшие островки мы видим на юге Пензенской области по реке Хопер, на севере Саратовской, северо-западе Волгоградской, юге Ульяновской областей. Заниматься выращиванием мискантуса возможно в районе Жигулевских гор и в отдельных местах на границе Татарстана и Самарской области, Татарстана, Оренбургской области и Башкирии, а также в горной части Крыма.

Большая часть Северного Кавказа пригодна для выращивания мискантуса, за исключением аридных и семиаридных районов Краснодарского и Ставропольского краев, Чечни и Дагестана. Однако, наиболее успешная культура *M. sacchariflorum* возможна в горных регионах (исключая высокогорья) Краснодарского и Ставропольского краев, Адыгеи, Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни и Дагестана.

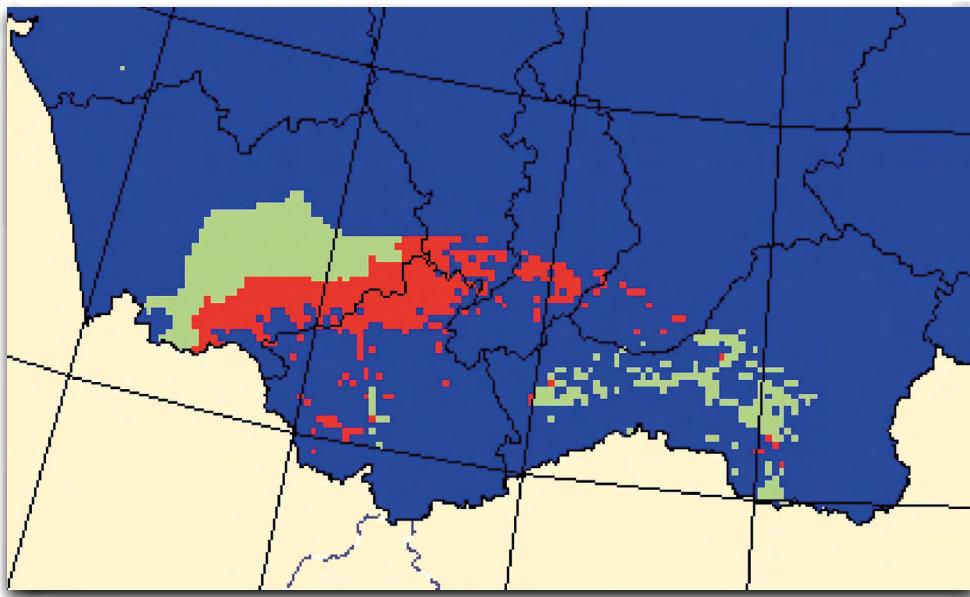


Рис. 9. Потенциальная зона промышленного выращивания мискантуса сахароцветного в Западной Сибири (Алтайский край, Республика Алтай, Кемеровская область) и Восточной Сибири (Хакасия, Красноярский край, Республика Тыва).

Fig. 9. Potential area of industrial cultivation of *Miscanthus sacchariflorus* in Western Siberia (Altai Territory, Altai Republic, Kemerovo Province), Eastern Siberia (Khakassia, Krasnoyarsk Territory, Tyva Republic).

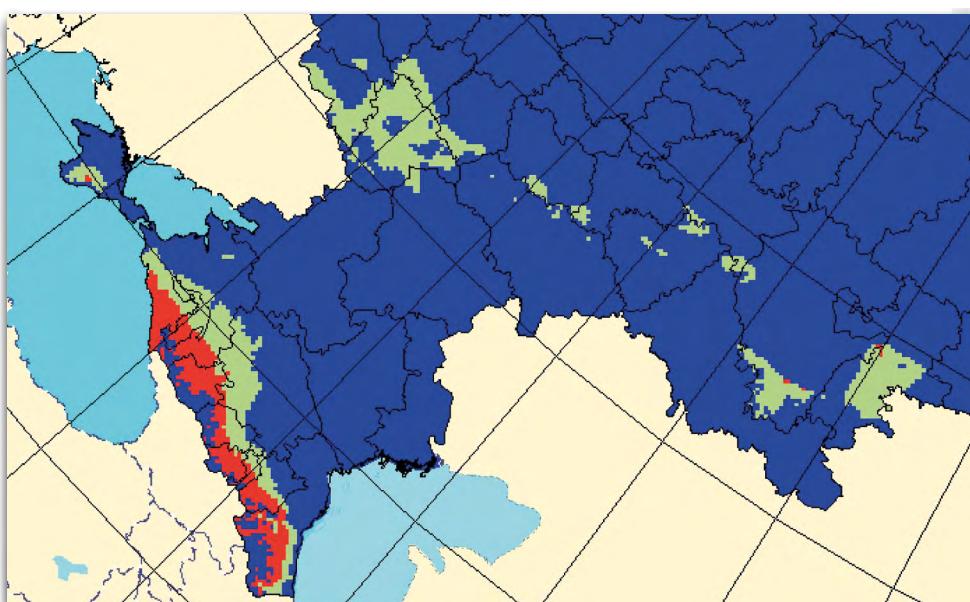


Рис. 10. Потенциальная зона промышленного выращивания мискантуса сахароцветного в Европейской части России (Курская, Белгородская, Липецкая, Тамбовская, Саратовская, Самарская, Ульяновская, Волгоградская, Оренбургская, Челябинская области, Татарстан, Башкирия) и на Северном Кавказе (Краснодарский край, Адыгея, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкарская Республика, Ставропольский край, Северной Осетии, Ингушетии, Чечня, Дагестан).

Fig. 10. Potential area of industrial cultivation of *Miscanthus sacchariflorus* in the European part of Russia (Kursk, Belgorod, Lipetsk, Tambov, Saratov, Samara, Ulyanovsk, Volgograd, Orenburg, Chelyabinsk provinces, Tatarstan, Bashkortostan), North Caucasus (Krasnodar Territory, Adygea, Karachay-Cherkessia, Kabardino-Balkaria, Stavropol Territory, North Ossetia, Ingushetia, Chechnya, Dagestan).



Заключение

Мискантус сахароцветный очень перспективен как селекционный материал для получения сортов мискантуса гигантского (*M. x giganteus*) и как новая техническая культура. Для успешного выращивания культуры мискантуса в индустриальном масштабе немаловажное значение имеют использование сортового материала и совершенствование его агротехники. Для создания зимостойких сортов мискантусов сахароцветного и гигантского хорошие результаты может дать использование в селекции образцов *M. sacchariflorus*, естественно произрастающих на северо-восточной границе своего ареала (Хабаровский край, Амурская область).

Минимальные значения среднемноголетних температур января в этих районах $-29,98^{\circ}$ С. Зимостойкость таких образцов дает возможность их выращивания на значительной территории Российской Федерации, т.е. зимостойкость не является лимитирующим фактором для культуры мискантуса.

В Государственном реестре сельскохозяйственных культур, допущенных к использованию в Российской Федерации, зарегистрировано два сорта мискантуса (без обозначения их видовой принадлежности): сорт 'Сорановский' селекции Новосибирского ИЦИГ СО РАН и сорт 'Камис' селекции Калужского НИИСХ (совместно с ООО «Мастер Брэнд»). Оба сорта рекомендованы в качестве биоэнергетического сырья без конкретного определения зон возделывания. В результате анализа климатических условий в точках произрастания вида, подтверждённых нашими полевыми наблюдениями, были выбраны лимитирующие факторы для культивирования вида. Таковыми, по нашему мнению, являются сумма эффективных температур выше $+10^{\circ}$ С от 1248,9 до 2493,1°С, гидротермический коэффициент Селянинова за вегетационный период от 1,49 до 3,4 и количество среднемноголетней суммарной солнечной радиа-

ции от 97,5 до 115 ккал/см². Руководствуясь этими параметрами, установленными по картам «Аgroэкологического атласа России...» (Afonin et al, 2008), смоделирована карта территории, отвечающей требуемым значениям.

Полученная потенциальная географическая область возможного промышленного культивирования мискантуса сахароцветного показывает, что климатическим требованиям в Российской Федерации наиболее полно отвечают предгорья Северного Кавказа, юг Западной Сибири и Дальнего Востока.

Полученная потенциальная географическая область возможного промышленного культивирования мискантуса сахароцветного показывает, что климатическим требованиям в Российской Федерации наиболее полно отвечают предгорья Северного Кавказа, юг Западной Сибири и Дальнего Востока.

По нашему мнению, на Дальнем Востоке целесообразно занимать культурой мискантуса пустующие бывшие сельскохозяйственные и болотистые, непригодные для других культур земли Амурской области, Хабаровского и Приморского краёв. При условии дополнительного орошения в засушливые годы площади, потенциально пригодные для выращивания мискантуса, значительно возрастают. Таким образом, в результате нашего исследования, используя простую прогностическую модель, основанную на трёх лимитирующих факторах, определены территории РФ, на которых культивирование мискантуса максимально отвечало бы потребностям агрокультуры. □

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно бюджетным проектам ВИР по теме № 0662-2019-0005 «Раскрытие потенциала и разработка стратегии рационального использования генетического разнообразия ресурсов кормовых культурных растений и их диких родичей, сохраняемого в семенных и гербарных коллекциях ВИР» с использо-



ванием Гербарных коллекций Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (WIR) и Ботанического института имени В.Л. Комарова (LE). **V**

References/Литература

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds.). (2008). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. Available at: <http://www.agroatlas.ru>. (Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [Интернет-версия 2.0]. 2008 <http://www.agroatlas.ru>.
- Anisimov A.A., Khokhlov N.F., Tarakanov I.G. (2016) Photoperiodical regulation of ontogenesis in different *Miscanthus* species (*Miscanthus* spp.) (Osobennosti fotoperiodicheskoy reguljacyii ontogeneza razlichnyh vidov miskantusa). *News of the Timiryazev Agricultural Academy – Izvestiya Timiryazevskoj selkohozyajstvennoj akademii*. 6:56-72 [in Russian] (Анисимов А.А., Хокхлов Н.Ф., Тараканов И.Г. Особенности фотопериодической регуляции онтогенеза у различных видов мискантуса (*Miscanthus* spp.). *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 6:56–72).
- Anisimov A.A., Khokhlov N.F., Tarakanov I.G (2017). The physiological peculiarities of the production process of various miscanthuses. Proceedings of the All-Russian scientific conference "Modern aspects of structure-functional biology of plants: from molecule to ecosystem" Orel, 2017, September 28-30 [in Russian] (Анисимов А.А., Хокхлов Н.Ф., Тараканов И.Г. Физиологические особенности продукционного процесса различных видов мискантуса // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекулы до экосистем», Орёл, 28-30 сентября 2017. С. 53–59).
- Arnoult S., Brancourt-Hulme M. (2015) A Review on *Miscanthus* Biomass Production and Composition for Bioenergy Use: Genotypic and Environmental Variability and Implications for Breeding. *Bioenergy Res.* 8:502–526. DOI: 10.1007/s12155-014-9524-7.
- Bagmet L.V., Dzyubenko E.A. (2013) Distribution of species of *Miscanthus* Anderss. In the Russian Far East (Raspredeleniye vidov roda *Miscanthus* Anderss. na territorii Dal'nego Vostoka Rossii). Modern Botany in Russia: Proceeding of XIII Botanical Congress of Russia. Tolyatti: Kassandra Publisher. V.2. PP. 4–5 [in Russian] (Багмет Л.В., Дзюбенко Е.А. Распространение видов рода *Miscanthus* Anderss. на территории Дальнего Востока России // Современная ботаника в России: Труды XIII Съезда Русского Ботанического общества (Тольятти, 16–22 сентября 2013). Т.2. Тольятти: Кассандра. С. 4–5).
- Belya G.A., Morozov V.L. (1995) Synopsis of vascular plant flora of the Jewish Autonomous region of Birobidzhan (Konспект flory sosudistyh rasteniy evreiskoi autonomnoi oblasti Birobidzhan). The Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences. P. 35 [in Russian] (Белая Г.А., Морозов В.Л. Конспект флоры сосудистых растений Еврейской автономной области. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН. С. 35).
- Bulatkin G.A., Mitenko G.V., Guriev I.D. (2017) Alternative power engineering: new resources vegetation materials. *Theoretical and Applied Ecology*. 2: 88-92 [in Russian] (Булаткин Г.А., Митенко Г.В., Гурьев И.Д. Альтернативная энергетика: новые ресурсы биотоплива из растительного сырья // Теоретическая и прикладная экология. 2:88–92). DOI: 10.25750/1995-4301-2017-2-088-092).
- Clark L.V., Dzyubenko E., Dzyubenko N., Bagmet L., Sabitov A., Chebukin P., Johnson D., Kjeldsen J.B., Petersen K.K., Jørgensen U., Ji Hye Yoo, Kweon Heo, Chang Yeon Yu, Hua Zhao, Xiaoli Jin, Junhua Peng, Yamada T., Sacks E.J. (2016) Ecological characteristics and *in situ* genetic associations for yield-component traits of wild *Miscanthus* from eastern Russia. *Annals of Botany*. 118(5): 941–955. DOI: 10.1093/aob/mcw137.
- Clark L.V., Jin X., Petersen K.K., Anzoua K. G., Bagmet L., Chebukin P., Deuter M., Dzyubenko E., Dzyubenko N., Kweon Heo, Johnson D., Jørgensen U., Kjeldsen J.B., Nagano H., Peng J., Sabitov A., Yamada T., Hye J., Chang Y., Yeon Yu., Long S., Sacks E.J. (2019). Population structure of *Miscanthus sacchariflorus* reveals two major polyploidization events, tetraploid-mediated unidirectional introgression from diploid *M. sinensis*, and diversity centered around the Yellow Sea. *Annals of Botany*. 124:731–748. DOI: 10.1093/aob/mcy161.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I.L. (2000) Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytologist*. 148:287–294. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2000.00764.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I., Andersson B., Basch G., D.G. Christian, Kjeldsen J.B., Jørgensen U., Mortensen J.V., Riche A., Schwarz K.-U., Tayeb K., Teixeira F. (2001) Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal* 93:1013–1019.
- Clifton-Brown J., Chiang Y.-C., Hodgkinson T.R. (2008) *Miscanthus*: genetic resources and breeding potential to enhance bioenergy production. In: Vermerris W. (ed.) *Genetic improvement of bioenergy crops*. Berlin: Springer. PP. 273–294. DOI: 10.1007/978-0-387-70805-8_10
- Darman G.F., Veklich T.N. (2019) *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. In: Senchik A.V., Malikova E.I. (eds.) Red book of the Amur region: Rare and endangered animals, plants and mushrooms species: official data. Blagovaeshensk: Far East State Agrarian University Publisher. PP. 338 [In Russian] (Дарман Г.Ф., Веклич Т.Н. *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. В кн.: Сенчик А.В., Маликова Е.И. (ред.) Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальный справочник. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета. С. 338).
- Dong H., Liu S., Clark L.V., Sharma S., Gifford J.M., Juvik J.A., Lipka A.E., Sacks E.J. (2019) Winter hardiness of *Miscanthus* (II): Genetic mapping for overwintering ability and adaptation traits in three interconnected *Miscanthus* populations. *GCB Bioenergy*. 11:706–726. DOI: 10.1111/gcbb.12587.
- Dorogina O.V., Vasiliyeva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Gismatulina Yu.A., Zhmud E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Tsibichenko E.A. (2018) Resource potential of some species of the genus *Miscanthus* Anderss. under conditions of continental climate of West Siberian forest-steppe. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 22(5):553–559 [in Russian] (Дорогина О.В., Васильева О.Ю., Нуждина Н.С., Буглова Л.В., Гисматулина Ю.А., Жмудь Е.В., Зуева Г.А., Комина О.В., Цыбченко Е.А. Ресурсный потенциал некоторых видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях континентального климата лесостепи Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 22(5):553–559. DOI: 10.18699/VJ18.394).
- Dorogina O.V., Vasiliyeva 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. (2019) 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.* 23(7):926–932 [in Russian] (Дорогина О.В., Васильева О.Ю., Нуждина Н.С., Буглова Л.В., Жмудь Е.В., Зуева Г.А., Комина О.В., Кубан И.С., Гусар А.С., Дудкин Р.В. Формирование и изучение коллекционного генофонда ресурсных видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях лесостепи Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 23(7):926–932. DOI: 10.18699/VJ19.568).
- Gauder M., Graeff-Hönniger S., Lewandowski I., Claupein W. (2012) Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany. *Ann. App. Biol.* 160:126–136. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2011.00526.
- Gismatulina Yu.A., Budaaeva V.V., Sakovich G.V., Vasilyeva O.Yu., Zueva G.A., Gusar A.S., Dorogina O.V. (2019) Features of the resource species *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. when introduced in West Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 23(7):933–940. [in Russian] (Гисматуллина Ю.А., Будаева В.В., Сакович Г.В., Васильева О.Ю., Зуева Г.А., Гусар А.С., Дорогина О.В. Особенности ресурсного вида *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. при интродукции в Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 23(7):933–940. DOI: 10.18699/VJ19.569).
- Gushchina V.A., Borisova E.N. (2017) Growth and development of first year *Miscanthus giganteus* depending on hydro-thermal conditions. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 1:12–18 [in Russian] (Гущина В.А., Борисова Е.Н. Рост и развитие мискантуса гигантского первого года жизни в зависимости от гидротермических условий // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 1:12–18. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-1-12-18).
- Gushchina V.A., Volodkin A.A., Agapkin N.D., Ostroborodova N.I. (2018) Introduction And Adaptation Of Giant *Miscanthus* To The Conditions Of The Forest-Steppe Of The Middle Volga Region. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS).* 9(5):2292–2297.
- Hager H.A., Sinasac S.E., Gedalof Z., Newman J.A. (2014) Predicting potential global distributions of two *Miscanthus* grasses: implications for horticulture, biofuel production, and biological invasions. *PLoS ONE* 9(6):1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0100032.
- Hodkinson T.R., Petrunenko E., Klaas M., Münnich C., Barth S., Shekhovtsov S.V., Peltuk S.E. (2016). New breeding collections of *Miscanthus sinensis*, *M. sacchariflorus* and hybrids from Primorsky krai, Far Eastern Russia. – In: Barth et al. (eds.) Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World. Springer International Publishing Switzerland. Ch. 10. PP.105–118. DOI: 10.1007/978-3-319-44530-4_10.
- Jensen E., Robson P., Norris J., Cookson A., Farrar K., Donnison I., Clifton-Brown J. (2013) Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany.* 64:541–552.
- Kachura N.N. Distribution map of *Miscanthus sacchariflorus*. (1985) In: Harkevich S.S. (ed.) Vascular plants of the Soviet Far East. Leningrad: Nauka. V.1: 42. [In Russian] (Качура Н.Н. Карта распространения *Miscanthus sacchariflorus*. В кн.: Сосудистые растения Советского Дальнего Востока. / Под ред. С. С. Харкевича. Л.: Наука. Т. 1. С. 376).
- Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V. (2014) Taxonomic Composition and Special Features of the Natural Flora in the Primorskii Krai. *Komarovskie Chteniya – Komarovsky readings.* 62:53 [in Russian] (Кожевников А.Е., Кожевникова З.В. Таксономический состав и особенности природной флоры Приморского края. Комаровские чтения. (62):53).
- Kuptsov N.S., Popov E.G. Energy plantation. Reference guide to the use of energy plants (Energoplantaci. Spravochnoe posobie po ispolzovaniyu energeticheskikh rastenii). Minsk: Tekhnalogiya. 128 p. (Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Технология. 128 с.).
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W. (2000) *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy* 19: 209–227. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00032-5
- Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Chistou M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25:335–361. DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00030-8.
- Pignon C.P., Spitz I., Sacks E.J., Jørgensen U., Kørup K., Long S.P. (2019) Siberian *Miscanthus sacchariflorus* accessions surpass the exceptional chilling tolerance of the most widely cultivated clone of *Miscanthus x giganteus* In: GCB Bioenergy. 11:883–894. DOI: 10.1111/gcbb.12599.
- Probatova N.S. (1985) Poaceae. In: Vascular plants of the Soviet Far East. L.: Nauka Publisher. V.1. PP. 375–376 [in Russian] (Пробатова Н.С. Мятликовые – Poaceae. В кн.: Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Л.: Наука. Т. 1. С. 375–376).
- Rubtsova T.A. (2017). Flora of the Jewish Autonomous Region. Khabarovsk: Antar Publisher. P. 5 [in Russian] (Рубцова Т.А. Flora Еврейской автономной области. Хабаровск: Антар. С. 5).
- Sacks E.J., Juvik J.A., Lin Q., Ryan Stewart J., Yamada T. (2013). The gene pool of *Miscanthus* species and its improvement. In.: Genomics of the Saccharinae. Springer New York. PP. 73–101. DOI: 10.1007/978-1-4419-5947-8_4.
- Selyaninov G.T. (1928). On agricultural climate valuation. Proc Agric Meteorol. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 20:165–177).
- Shlotgauer S.D., Kryukova M.V., Antonova L.A. (2001) Vascular Plants of the Khabarovsk Krai and Their Protection (Sosudistye rasteniya Khabarovskogo regiona i ih ohrana). Vladivostok, Khabarovsk: Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Publisher. P. 48 [in Russian]. (Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В., Антонова Л.А. Сосудистые растения Хабаровского края и их охрана. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН. С. 48).
- Shumilin V.P., Lee Yu.S. (2009). AgroAtlas GIS Software. Available at <http://www.agroatlas.ru>. (Шумилин В.П., Ли Ю.С. 2009. AgroAtlas программное ГИС обеспечение, 2009 [Online]. <http://www.agroatlas.ru>).
- Slyntko N.M., Goryachkovskaya T.N., Shekhovtsov S.V., Bannikova S.V., Burmaka N.V., Starostin K.V., Rozanov A.S., Nechiporenko N.N., Veprev S.G., Shumny V.K., Kolchanov N.A., Peltuk S.E. (2013) The biotechnological potential of the new crop, miscanthus cv. Soranovskii *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 17(4/1):765–771 [in Russian] (Слынько Н.М., Горячковская Т.Н., Шеховцов С.В., Банникова С.В., Бурмакина Н.В., Старостин К.В., Розанов А.С., Нечипоренко Н.Н., Вепрев С.Г., Шумный В.К., Колчанов Н.А., Пельтук С.Е. Биотехнологический потенциал новой технической культуры – мискантус сорт Сорановский // Вавиловский журнал генетики и селекции. 17(4/1):765–771).
- Starchenko V.M. (2001) Synopsis of the flora of the Amur region. In.: Komarov readings. 48:12 [in Russian] (Старченко В.М. Конспект флоры Амурской области. В кн.: Комаровские чтения. 48:12).
- Tzvelev N.N. (1976) Poaceae of the USSR. Leningrad: Nauka. PP. 693–694 [in Russian] (Цвёлев Н.Н. Злаки СССР. Ленинград: Наука, С.693–694).



- Tsyganov A.P., Klochkov A.V. (2012) Bioenergetics: energy potential of biomass. (Bioenergetika: energeticheskiye vozmozhnosti biomassy). Minsk: Belorussian Science Publisher. 143 pp. [in Russian] (Цыганов А.Р., Клочков А.В. Биоэнергетика: энергетические возможности биомассы. Минск: Беларусская наука. 143 с.).
- Vorobyev D.P. (1982) Manual of vascular plants of the vicinity of Vladivostok. L.: Nauka Press. PP. 216-217 [in Russian] (Воробьев Д.П. Определитель сосудистых растений окрестностей Владивостока. Л.: Наука. С. 216-217).
- Voroshilov V.N. (1982) Keys to vascular plants of the Soviet Far East (Opredelitel sosudistyh rasteniy sovetskogo Dalnego Vostoka). Moscow: Nauka Publisher. P. 46 [in Russian] (Ворошилов В.Н. Определитель растений советского Дальнего Востока. М.: Наука. С. 46).
- Williams M.J., Douglas J. (2011) Planting and Managing Giant Miscanthus as a Biomass Energy Crop. United States Department of Agriculture. Technical Note. (4). 22 p.
- Zinchenko V.A., Yashin M. (2011). Energy of miscanthus (Energia miscanthusa). Lesprominform, 6(80):134-140 [in Russian] (Зинченко В.А., Яшин М. Энергия мискантуса. Леспроминформ. 6(80): 34-140).

ПРОЗРАЧНОСТЬ ФИНАНСОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ ОТСУТСТВУЕТ.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Багмет Л. В., Дзюбенко Е. А. Прогнозирование областей культивирования *Miscanthus sacchariflorus* (Poaceae) на территории Российской Федерации. Vavilovia. 2019; 2(4): 35-49.
DOI: 10.30901/2658-3860-2019-4-35-49

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Bagmet L. V., Dzyubenko E. A. Prediction of the potential cultivation areas of *Miscanthus sacchariflorus* in the Russian Federation. Vavilovia. 2019; 2(4): 35-49.
DOI: 10.30901/2658-3860-2019-4-35-49