

ВЫРАЩИВАНИЕ ВЫСОКОТРАВНЫХ РАСТЕНИЙ НА КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНАХ

Артемьев Олег Сергеевич

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение гимназия № 9
г. Екатеринбург, Свердловская область, ер-artem@mail.ru

Аннотация: Статья посвящена сравнению урожайности высокотравных растений на Среднем Урале. Такие растения получают конкурентные преимущества при изменении климата и увеличении концентрации CO₂ и перспективны для выращивания на карбоновых полигонах. Выявлено, что наиболее урожайным среди изученных видов является горец Вейриха.

Ключевые слова: амарант; горец; мордовник; карбоновый полигон.

O. Artemyev (Russia). CULTIVATION OF LARGE-HERB PLANTS ON CARBON POLYGONS.

Annotation: The article considers the issue of the yield of large-herb plants in the Middle Urals. These plants have advantages in the changing climate and CO₂ increasing. They can be used for atmospheric carbon deposition. It was determined that plants of *Polygonum weyrichii* had the highest yield.

Keywords: amaranth; *Polygonum*; *Echinops*; carbon polygon.

В последние годы заметно возрос интерес к высокопродуктивным травянистым растениям как к необходимому элементу для формирования устойчивых сообществ, обладающих высокой секвестрационной способностью.

Секвестрация или поглощение парниковых газов – это процесс, в результате которого происходит изъятие из атмосферы парниковых газов и аккумуляция углерода [1]. Накопленный в результате деятельности человека за последние сто лет углекислый газ вызывает в настоящее время потепление климата [2]. На Среднем Урале сосредоточено большое количество

горнодобывающих, металлургических и других промышленных предприятий, которые своими выбросами влияют на экологическую обстановку и способствуют повышению углекислого газа в атмосфере. В связи с этим в нашем регионе создание специализированных карбоновых полигонов и ферм, помогающих снижать темпы роста парниковых газов, особо актуально.

В ближайшие годы в нашей стране планируется создать 14 карбоновых полигонов [3]. В Свердловской области 29 октября 2021 г. был открыт карбоновый полигон «УралКарбон», на котором ведутся работы по изучению запасов углерода в природных сообществах.

Анализируя литературу об изучении процессов депонирования углерода, продуктивности лесов, дыхания почв, можно заключить, что нет единого мнения о формировании природных систем, способных постоянно и в больших количествах связывать углерод [2, 4]. Одну из основных ролей в секвестрации и депонировании углерода играют леса [5]. Высокопродуктивные травянистые растения являются необходимым элементом сообществ и должны рассматриваться как объект пристального внимания при создании карбоновых ферм. Эти растения отличает большая надземная биомасса, продуктивное долголетие и многофункциональное значение.

Целью наших исследований было сравнение продуктивности надземной массы высокотравных однолетних растений амаранта хвостатого, многолетних горца Вейриха и мордовника шароголового на Среднем Урале в годы, отличающиеся по погодным условиям.

Актуальность работы обусловлена тем, что высокотравные растения способны эффективно поглощать парниковые газы и депонировать углерод. Изучение таких растений в умеренно-континентальном климате предоставит новые данные об их эколого-биологических особенностях. Гипотеза нашей работы заключается в том, что высокотравные растения являются продуктивными и перспективными для выращивания на специализированных карбоновых полигонах и фермах с целью поглощения избытка углекислого газа.

Для подтверждения гипотезы были поставлены следующие задачи:

- 1) измерить сырую и сухую надземную массу растений амаранта хвостатого, горца Вейриха и мордовника шароголового;
- 2) сравнить урожайность надземной массы исследуемых видов и определить влияние температуры воздуха и влажности на урожайность исследуемых видов;
- 3) сделать вывод о перспективности выращивания изученных растений.

Объекты и методы исследования

Наш исследовательский проект мы проводили в г. Екатеринбурге в вегетационные периоды 2021–2022 гг. (с мая по сентябрь). Объектами исследования были три вида травянистых растений: амарант хвостатый *Amaranthus caudatus* L., горец Вейриха *Polygonum weyrichii* F. Schmidt и мордовник шароголовый *Echinops sphaerocephalus* L.

Семена амаранта высевали в дерново-подзолистую почву на трех предварительно подготовленных делянках 21 мая 2021 г. и 23 мая 2022 г. согласно агротехническим методикам выращивания амаранта [6]. На опытных участках многолетние растения горца Вейриха и мордовника шароголового выращивали уже пять-шесть лет. В конце вегетационного сезона 4–5 сентября 2021 г. и 3 сентября 2022 г. проводили учет урожайности. Для этого срезали по шесть растений каждого вида, взвешивали на электронных весах. После полного высыхания срезанных стеблей через 4–5 недель измеряли сухую массу каждого образца. Помимо этого, нами был проведен учет урожайности каждого вида с единицы площади. Для этого мы срезали все растущие растения с опытной делянки площадью 1–3 м² (в трехкратной повторности) и проводили взвешивание сырой надземной массы. Все эти измерения позволили нам рассчитать и сравнить среднюю сырую и сухую массу одного растения, среднюю урожайность сырой и сухой надземной массы с единицы площади. В 2022 г. была измерена высота растений в шестикратной повторности.

Мы сравнили урожайность изученных видов и сопоставили со значениями температуры и влажности в исследованные вегетационные периоды [7]. Для оценивания мы использовали гидротермический коэффициент (ГТК) [8].

Результаты и их обсуждение

Одним из объектов нашего исследования были растения амаранта хвостатого *Amaranthus caudatus* L. Это травянистое однолетнее растение семейства *Amaranthaceae*, произрастающее в тропическом, субтропическом или умеренном климате [9]. За высокую народнохозяйственную ценность, продуктивность и адаптационные возможности Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) амарант признан важнейшей сельскохозяйственной культурой XXI в. [10]. Урожайность надземной зеленой массы у разных сортов амаранта колеблется, но некоторые сорта отличаются высокой урожайностью до 1500–2000 ц/га [11, 12]. Вегетационный период до полного созревания семян составляет около 100–120 дней.

Высокая продуктивность амаранта связана с тем, что в его листьях происходит особый тип C_4 -фотосинтеза [12], отличающийся от C_3 -типа, который идет в листьях растений умеренного климата. Это позволяет амаранту эффективно продуцировать биомассу, прежде всего в условиях недостатка влаги.

В наших исследованиях амарант всходил примерно на 7–9 день после посева. Растения приступили к бутонизации в середине – конце июля и цвели со второй декады августа вплоть до уборки надземной массы. В 2022 г. высота стебля амаранта хвостатого в момент уборки составила 101 ± 13 см.

В таблице 1 представлены в качестве примера результаты измерения надземной массы отдельного растения амаранта хвостатого и многолетних видов горца Вейриха и мордовника шароголового в 2021 г. В наших исследованиях средняя масса одного растения амаранта хвостатого была выше, чем у горца и мордовника.

Растения амаранта способны накапливать в своих стеблях воду и переживать засушливые периоды. Из таблицы 1 видно, что растения амаранта содержали больше воды в надземной массе, по сравнению с горцем и мордовником. Такие растения получают конкурентные преимущества при потеплении климата и увеличении углекислого газа в атмосфере по сравнению с другими растениями.

**Таблица 1. Сырая и сухая масса одного растения исследуемых
травянистых культур в 2021 г.**

Культура	Повторность	Сырая масса одного растения, г	Сухая масса одного растения, г	Содержание воды, %
Амарант хвостатый	1	1196	260	78
	2	980	178	82
	3	1086	188	83
	4	1496	298	80
	5	808	148	82
	6	1110	184	83
	среднее значение	1113	209	81
Горец Вейриха	1	534	134	75
	2	328	76	77
	3	316	74	77
	4	236	64	73
	5	306	70	77
	6	348	80	77
	среднее значение	345	83	76
Мордовник шароголовый	1	326	138	58
	2	192	130	32
	3	428	172	60
	4	356	138	61
	5	304	126	59
	6	386	154	60
	среднее значение	332	143	55

Многолетнее кормовое растение горец Вейриха *Polygonum weyrichii* F. Schmidt является представителем семейства *Polygonaceae* [9]. В наших исследованиях высота стеблей горца Вейриха в 2022 г. составила 248 ± 12 см, что сопоставимо с известными литературными данными [13]. Максимальная продуктивность посевов горца достигается к 3–4 году выращивания и сохраняется в последующие годы жизни. Средняя урожайность зеленой массы у горца Вейриха 600–800 ц/га считается высокой [14]. Горец Вейриха относится к холодостойким и зимостойким растениям. Корневища способны выдерживать морозы до -35 °С. Это влаголюбивое, но одновременно и засухоустойчивое

растение. Наиболее чувствительны к недостатку влаги всходы при формировании корневой системы и молодые растения в первый год жизни. С возрастом чувствительность к недостатку влаги снижается. Для прорастания семян требуется 60–70 % воды от массы сухого семени [14], но избыточное увлажнение негативно влияет на рост растений. Горец Вейриха в первый год растет медленно, но затем отличается быстрым ростом, высокой урожайностью, экологической пластичностью и нетребовательностью к условиям возделывания, растет на различных почвах. Начало отрастания побегов горца Вейриха в нашем климате в 2021–2022 гг. пришлось на вторую декаду мая. К цветению растения перешли в конце июля – начале августа. Наибольший рост надземной массы мы наблюдали в июле – августе, в период бутонизации и цветения.

В наших исследованиях масса отдельного стебля в конце сезона 2021 г. составила в среднем 345 г (таблица 1), 76 % из которой приходилось на воду. В 2022 г. сырая масса отдельного стебля отличалась незначительно от предыдущего года и составила 313 г. Это свидетельствует об устойчивости данного вида растений к засушливым условиям, так как в июле и августе выпало мало осадков.

Третьим исследованным растением был многолетний мордовник шароголовый *Echinops sphaerocephalus* L. из семейства *Compositae* [9]. Высота стебля мордовника, измеренная в 2022 г., составила 209 ± 16 см. Отрастание стеблей мордовника шароголового на наших опытных участках в вегетационные периоды 2021–2022 гг. началось одновременно с горцем Вейриха в конце мая, а цветение началось в конце и продолжалось все лето.

Мордовник шароголовый является прекрасным медоносом [15]. По литературным данным урожайность плодов мордовника в культуре составляет 8 ц/га [16]. А вот литературных данных об урожайности надземной массы и эколого-биологических особенностях мордовника шароголового недостаточно, так как мордовник шароголовый не является распространенным объектом научных исследований. Для нас изучение урожайности биомассы мордовника

шароголового представляло интерес точки зрения оценки перспективности его выращивания как растения, способного накапливать углерод.

Средняя сырая масса одного растения мордовника в конце вегетационного сезона 2021 г. составила 332 г, что меньше массы побега горца. Мордовник меньше всего накапливал воду в своей надземной массе. Содержание воды составило всего 55 % (таблица 1). Но при этом воздушно-сухая масса была выше. В 2022 г. сырая масса одного растения составила 188 г. Однако урожайность надземной массы, рассчитанная в ц/га отличалась незначительно от предыдущего года (рисунок 1). Это возможно связано с увеличением количества самих растений на опытном участке.

Вегетационный период 2021 г. на Среднем Урале характеризовался высокими температурами и засушливыми условиями. Среднесуточная температура в г. Екатеринбурге в июне – августе составила 19,6 °С, что на 2,5 °С теплее, чем в предыдущие годы. Сумма температур выше 10 °С составила 2443 °С, что выше среднемноголетнего значения. Сумма осадков в летние месяцы составила 216 мм [7].

Вегетационный период 2022 г. оказался еще более засушливым. Несмотря на холодный июнь (ниже нормы на 1,2 °С) в г. Екатеринбурге среднесуточная температура в июле и августе была выше нормы на 2–4,4 °С. Жаркая погода сопровождалось засухой в июле и августе. Суммы осадков в июле и августе были ниже нормы и составили 11 % и 31 % от нормы, соответственно. Сумма осадков в летние месяцы составила 120 мм [7]. Недостаток влаги в почве повлиял на снижение урожайности исследованных нами высокотравных культур.

На момент уборки вегетативной массы исследуемых травянистых растений ГТК в 2021 г. составил 0,95. Оптимальным считается значение ГТК около 1,0 [8]. В 2022 г. ГТК за летний период был равен 0,68, что характеризует вегетационный период как более жаркий и засушливый. Таким образом, вегетационный период 2021 г. оказался более благоприятным для роста и развития исследованных культур, чем 2022 г.

Если сравнивать урожайность разных культур, то в наших исследованиях наиболее продуктивным показал себя горец Вейриха (рисунок 1). Его урожайность в 2021 г. на шестом году жизни составила 1524 ц/га сырой массы или 367 ц/га сухой массы, что является хорошим показателем.

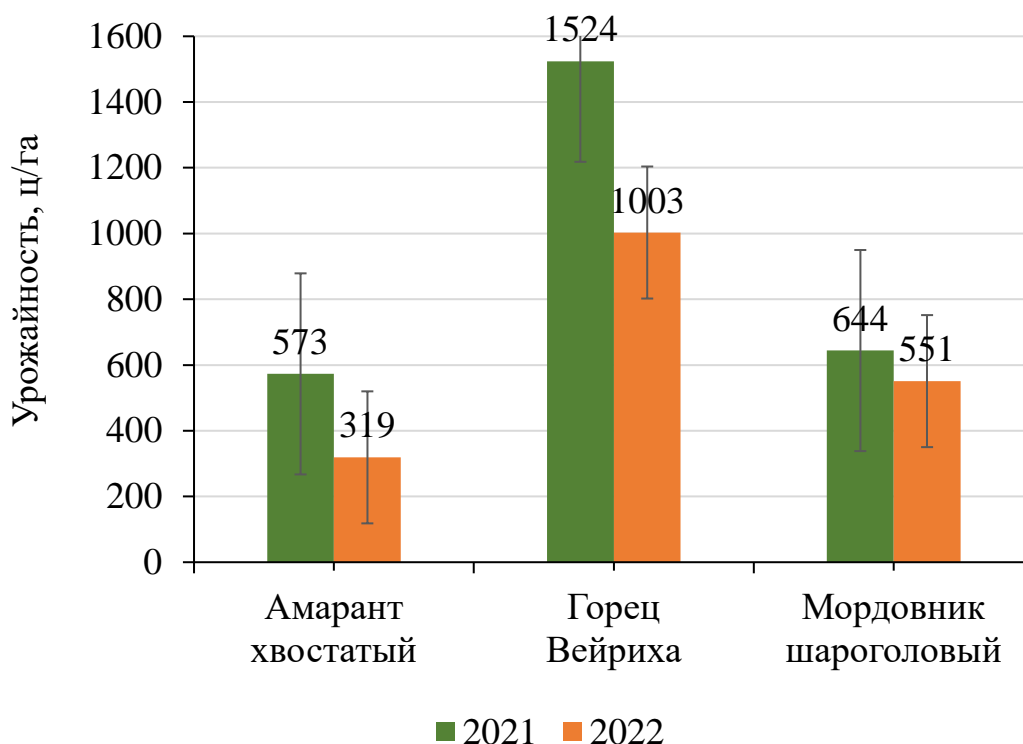


Рисунок 1. Урожайность высокотравных растений в 2021-2022 гг.

Урожайность надземной биомассы растений амаранта была на уровне значений продуктивности в других странах [17] и составила 573 ц/га в 2021 г. и 319 ц/га в 2022 г.

В перерасчете на сухую массу больше всего биомассы в течение вегетационного сезона образует горец Вейриха, затем мордовник шароголовый и амарант хвостатый.

Таким образом мы изучили рост и развитие при выращивании на Среднем Урале высокотравных растений: однолетнего амаранта хвостатого, многолетних горца Вейриха и мордовника шароголового.

Наша гипотеза, выдвинутая в начале работы, что что эти травянистые растения являются высокопродуктивными и перспективны для выращивания в нашем климате была подтверждена. Растения выросли, проходили все фазы

развития, давали большую надземную массу. Предлагаемые высокотравные культуры могут быть взаимодополняемы и взаимозаменяемы при изменениях климата, характеризующихся сменой влажных и сухих, холодных и теплых вегетационных периодов. Такие растения получают конкурентные преимущества и могут быть использованы как на сельскохозяйственных угодьях, так и при рекультивации нарушенных территорий.

Горец Вейриха показал себя перспективным высокопродуктивным растением и введение его в культуру может быть эффективным. Известно, что разнообразие положительно сказывается на связывании углерода в сельскохозяйственных угодья. Поэтому нельзя ограничиваться выращиванием одного вида растения. Мы рекомендуем для выращивания на карбоновых полигонах и фермах также однолетний амарант хвостатый, который благодаря C_4 фотосинтезу обладает высокой способностью связывать углерод, и многолетний мордовник шароголовый.

Благодарности

Выражаем благодарности руководителю проекта «Урал-Карбон» (Свердловская область) В.В. Валдайских, сотрудникам ботанического сада УрФУ им. первого президента России Б.Н. Ельцина и учителю биологии МАОУ гимназии № 9 Ю.В. Боруновой за консультации и советы при подготовке работы.

Список литературы

1. Декарбонизация: успехи и неудачи стратегии сокращения выбросов парниковых газов. – URL: <http://decarbonization.ru/news/co2-utiltsation/> (дата обращения: 17.03.2023).

2. ООН. Меры по борьбе с изменением климата. – URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/cop26> (дата обращения: 17.03.2023).

3. Карбоновые полигоны в России: утверждены программы развития // Репортер ВУЗа. – М.: Панорама, 2021. – № 9. – С. 20–21.

4. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России. – Москва, 2010. – 50 с.

5. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Канунникова О.В. Депонирование углерода лесами Уральского федерального округа // Сибирский экологический журнал, 2008. – Т.15, № 3. – С. 371–380.

6. Федосеева Г.П. Амарант: биологические особенности, хозяйственная ценность, агротехника. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1995. – 20 с.

7. Справочно-информационный портал «Погода и климат». – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 17.03.2023).

8. Чирков Ю.И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 296 с.

9. ВФО (2023): Всемирная флора онлайн – URL: <http://www.worldfloraonline.org/> (дата обращения: 17.03.2023).

10. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). – URL: <http://www.fao.org/traditional-crops/> (дата обращения: 17.03.2023).

11. Кононков П.Ф., Гинс В.К., Гинс М.С. Амарант – перспективная культура XXI века. – М.: Изд. дом Е. Федорова, 1997. – 160 с.

12. Чернов И.А. Амарант – физиолого-биохимические основы интродукции. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. – 92 с.

13. Хуснидинов Ш.К., Шумицкий С.Н. Морфо-биологическая характеристика горца Вейриха // Вестник ИрГСХА, 1998. – № 12. – С. 37–39.

14. Ефремов В.В. Продуктивность горца Вейриха в полевом кормопроизводстве // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства, 2018. – № 20. – С. 30–32.

15. Докукин Ю.В. Биологические особенности развития мордовника шароголового // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии, 2018. – С.115–118.

16. Савин А.П., Рыженкова А.В. Мордовник шароголовый // Пчеловодство, 2013. – № 9. – С.18–19.

17. Чернов И.А., Земляной Б.Я. Амарант – фабрика белка. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. – 92 с.