

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО (*GALEGA ORIENTALIS* LAM.) В ПРЕДЕЛАХ ВТОРИЧНОГО АРЕАЛА НА ПЕСЧАНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ СУРГУТСКОГО РАЙОНА)

PECULIARITIES OF GROWTH
AND DEVELOPMENT OF THE ROOT
SYSTEM OF EASTERN GOAT'S RUE
(*GALEGA ORIENTALIS* LAM.) WITHIN
THE SECONDARY RANGE ON SANDY
PODZOLIC SOILS IN THE CONDITIONS
OF THE MIDDLE TAIGA OF WESTERN
SIBERIA (ON THE EXAMPLE OF THE
SURGUT REGION)

E. Moiseeva

R. Bordey

N. Lozhkina-Gametskaya

Summary. The article presents the results of the introduction assessment of the culture *Galega orientalis* Lam. (Eastern goat's rue) when cultivated in extreme soil and climatic conditions of the North. As a result of the research, the features of the growth and development of the root system of the Eastern goat's rue 1–3 years were studied. life in the environs of the city of Surgut. An analysis of the effect of inoculation of seed material with microbiological fertilizer Байкал-ЭМ1 and two-component sowing on the morphometric parameters of the introducing root system was carried out.

Also, when comparing our indicators with the data obtained during the cultivation of eastern goat's rue in the conditions of the middle taiga of the European territory of Russia, we can note a decrease in the length of the main root and its increase relative to the growth of the stem, which in our opinion is associated with a deterioration in growing conditions.

As a result of the research, the expediency of using Байкал-ЭМ1 in the study region for pre-sowing preparation of seeds in order to increase the adaptive potential of the root system of the Eastern goat's rue has been established.

Keywords: introduction, Oriental goat's rue (*Galega orientalis* Lam.), root system, adaptation, acidic podzolized soils, extreme soil and climatic conditions.

Моисеева Екатерина Алексеевна

к.б.н., старший преподаватель, Сургутский
государственный педагогический университет
lapinaea_vizit@mail.ru

Бордей Римма Ханифовна

к.б.н., старший преподаватель,
Сургутский государственный университет;
ведущий научный сотрудник, Научный центр экологии
природных комплексов, г. Сургут
ar80@yandex.ru

Ложкина-Гамецкая Наталья Ивановна

к.б.н., доцент, Сургутский государственный
педагогический университет
L-G.surgpu@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты интродукционной оценки растений *Galega orientalis* Lam. (козлятник восточный) при возделывании в экстремальных почвенно-климатических условиях Севера. В результате исследований были изучены особенности роста и развития корневой системы козлятника восточного 1–3 гг. жизни в условиях окрестностей г. Сургута. Проведен анализ влияния инокуляции посевного материала микробиологическим удобрением Байкал-ЭМ1 и двухкомпонентного посева на морфометрические показатели корневой системы интродуктента.

В результате исследований установлена целесообразность применения Байкал-ЭМ1 в исследуемом регионе для предпосевной подготовки семян с целью увеличения адаптационного потенциала корневой системы козлятника восточного.

Ключевые слова: интродукция, Козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), корневая система, адаптация, кислые оподзоленные почвы, экстремальные почвенно-климатические условия.

Введение

В настоящее время козлятник становится приоритетной культурой для интродукции в различных почвенно-климатических зонах РФ [1, 2, 3, 4, 6, 9, 15,

16, 17, 18, 19]. Однако, территория пункта интродукции (Сургутский район) где проводились исследования, относится к зоне рискованного земледелия (Атлас ХМАО-Югры, 2004).

Климат пункта интродукции характеризуется как умеренно континентальный. Продолжительность вегетационного периода, в среднем, составляет 85 суток с суммой температур от 1250 до 1350 °С и годовым количеством осадков 500–650 мм. Почвы формируются при промывном типе водного режима, бесструктурные низкоплодородные, подзолистые и кислые [1].

При интродукции многолетних растений в новых почвенно-климатических условиях, особое внимание должно уделяться изучению развития подземного аппарата интродуцента с практической точки зрения.

Цель исследования: изучение морфологических особенностей и химическая оценка развития корневой си-

стемы козлятника восточного в процессе онтогенеза при интродукции в экстремальных почвенно-климатических условиях средней тайги Западной Сибири (на примере Сургутского района).

В качестве объекта исследования в работе было выбрано многолетнее травянистое растение из семейства бобовых — козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), сорт Гале.

Интродукционный эксперимент проводился на опытном участке Сургутского Ботанического сада с 2019 по 2021 гг. Исследования проводились по апробированной ранее схеме методом рандомизированных организованных повторений в 4-х кратной повторности

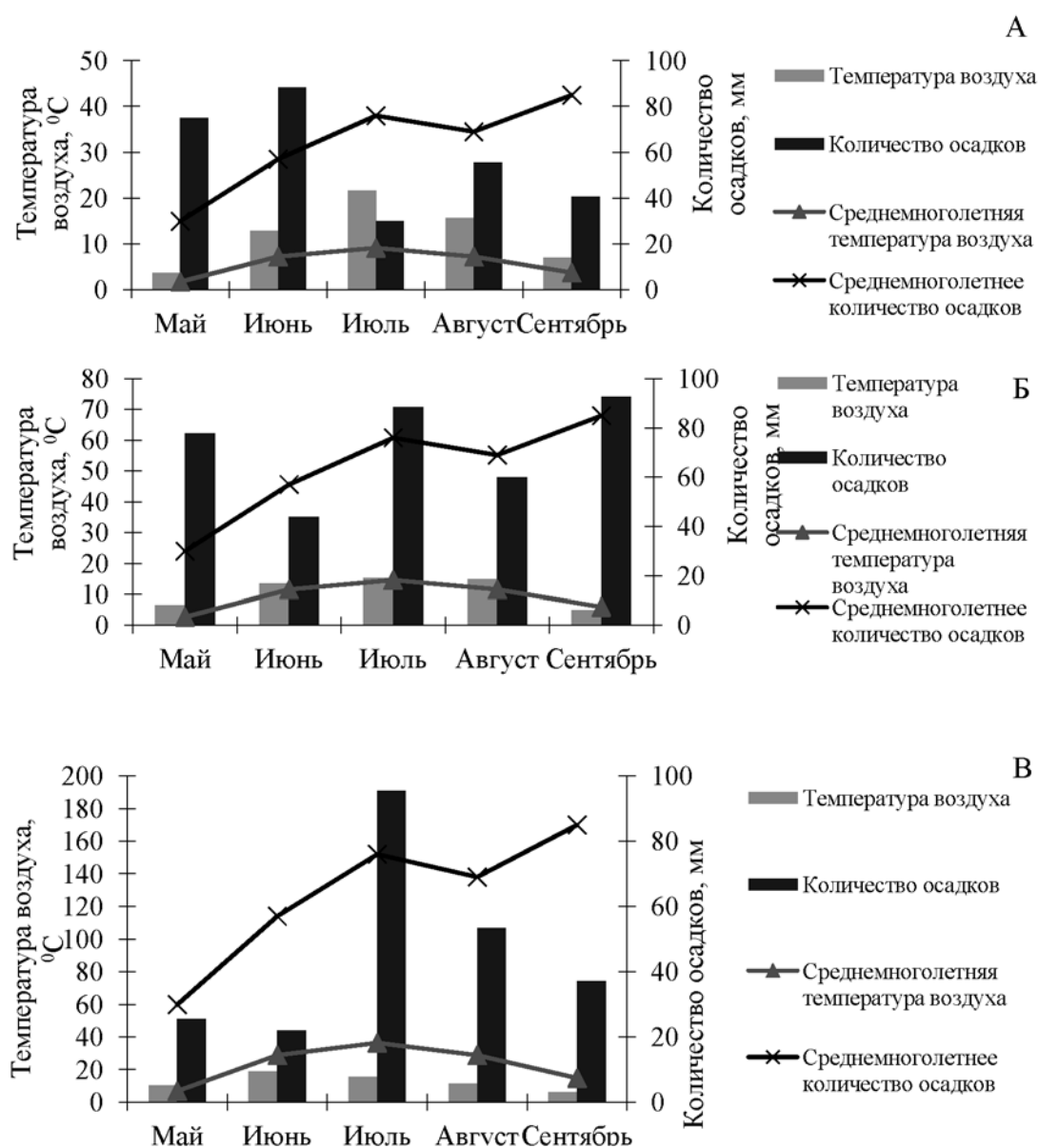


Рис. 1. Метеорологические условия вегетационных сезонов: А — 2019 год; Б — 2020 год; В — 2021 год

в соответствии с методикой Б.А. Доспехова (1973). Общая учетная площадь составляла 18 м², площадь учетной деланки — 1,5 м² [7] по следующей схеме: Вариант опыта 1 — Контроль; Вариант опыта 2 — Инокуляция семенного материала микробиологическим удобрением Байкал-ЭМ1; Вариант 3 — Бинарный посев козлятника с горохом.

Почвы опытного участка характеризуются как кислые (рН 5,21), песчаные, подзолистые с содержанием гумуса 5,6 % (по Тюрину), содержание аммонийного азота — 3,9 мг/кг почвы (по ЦИНАО), нитратного азота — 129 мг/кг почвы (ионометрический метод), обменного калия — 67 мг/кг почвы (по Кирсанову), подвижного фосфора — 396 мг/кг почвы (по Кирсанову). Семенной материал соответствует категории РС1 (1 репродукция). Байкал-ЭМ1 произведен в ООО НПО ЭМ-Центр, г. Улан-Удэ, республика Бурятия. Инокуляцию семян козлятника восточного перед посевом проводили согласно рекомендации производителя. Сбор растительных образцов проводили в конце вегетационного периода ручным способом. Климатическая оценка пункта интродукции осуществлялась по данным метеостанции г. Сургута. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по методике Селиванова (1982). Учет корневых остатков культуры определяли по методике Н.З. Станкова (1964) методом почвенного монолита. Определение содержания химических элементов в подземной биомассе козлятника восточного проводили по общепринятым методикам в аккредитованной испытательной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Марийская», г. Йошкар-Олы республики Марий-Эл. Статистическую и математическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа по методике Б.А. Доспехова (1973) с применением пакета программ «Microsoft Office Excel 2010», «Statistica 6.0».

За годы наблюдений метеорологические условия в целом были типичными для района интродукции. Вегетационные периоды 2019 и 2020 годов характеризовались недостаточной теплообеспеченностью (ГТК — 0,8 и 1,2, соответственно) при норме ГТК — 1,7. Благоприятные условия для развития козлятника восточного складывались в 2021 году, в результате более влажного и теплого вегетационного периода (рис. 1).

Анализ динамики линейного роста корневой системы козлятника восточного при возделывании на кислых песчаных почвах Сургутского района показал прямую зависимость данного параметра от продолжительности возделывания травостоя (рис. 2).

В год посева, в конце вегетационного периода, длина главного корня интродуцента, в зависимости от варианта опыта, варьировала от 14,7 до 25,8±0,28 см. Статисти-

чески значимое увеличение ($p \leq 0,05$) изучаемого параметра отмечалось на 2-й и 3-й года жизни интродуцента: с 11,0 до 33,0±0,79 см и от 28,2–45,3±1,00 см, по годам соответственно. При сравнение полученных нами результатов с данными морфометрических показателей развития коневой системы козлятника, произрастающего на территории Европейской части средней тайги отмечена тенденция к уменьшению длины главного корня интродуцента в среднем на 50 %, что, по нашему мнению, обусловлено особенностями гидротермического подзолообразования в пункте интродукции.

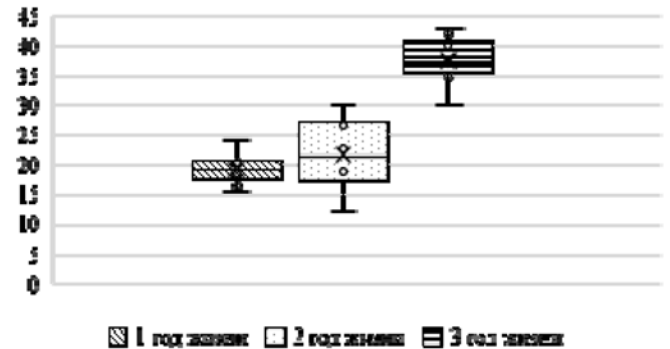


Рис. 2. Длина главного корня растений козлятника восточного, см

Примечание: * $p \leq 0,05$ к предыдущему году

Изучаемые нами приемы возделывания козлятника восточного оказали неоднозначное влияние на рост корневой системы интродуцента (рис. 3).

Бинарная культура гороха оказала отрицательное влияние на рост главного корня козлятника. Отмечено достоверно значимое ($p \leq 0,05$) уменьшение длины главного корня у растений высеванных совместно с горохом в среднем на 12–33 % к контролю в зависимости от года возделывания интродуцента. Инокуляция посевного материала микробиологическим удобрением Байкал-ЭМ1, напротив, способствовала достоверному увеличению ($p \leq 0,05$) изучаемого параметра на 10–11 % к контрольным показателям.

Статистический анализ позволил установить, что линейный рост главного корня козлятника восточного в экстремальных почвенно-климатических условиях возделывания так же зависит от интенсивности роста надземного побега растения ($r = 0,9$) (рис. 4).

Ранее, нашими исследованиями установлено, что по мере увеличения возраста травостоя наблюдалось переориентирование роста подземной части растений в сторону увеличения доли длины стебля до 68–71 % от общего длинно растения [8, 10] (рис. 5).

Необходимо отметить, что у растений козлятника семенной материал, перед посевом, который был инокулирован микроудобрением, во все годы наблюдения

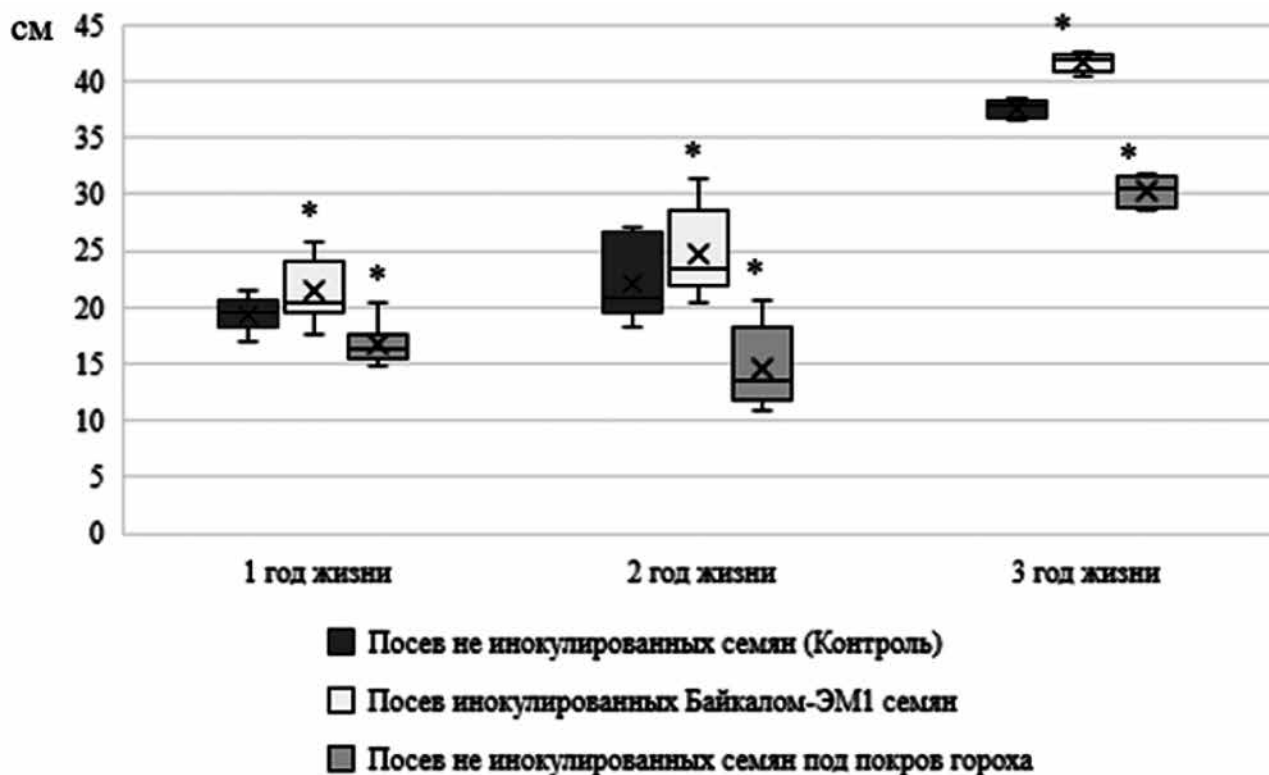


Рис. 3. Длина главного корня козлятника восточного по вариантам опыта (по годам жизни), см
 Примечание: * $p \leq 0,05$ к контролю

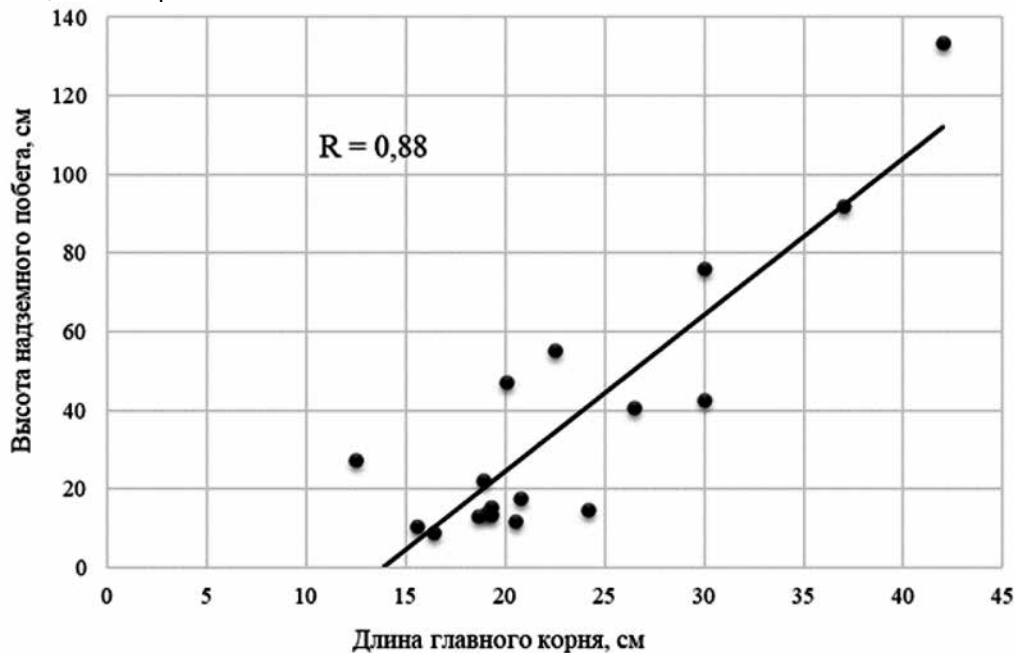


Рис. 4. Зависимость длины главного корня козлятника восточного от высоты стебля

отмечено незначительное ($\alpha > 0,05$) перераспределение роста побегов в сторону увеличения соотношения длины стебля к длине корня (рис. 6).

Ранее нами отмечалось [7, 11, 10], что применение Байкала-ЭМ1 оказало положительное влияние на увеличение длины стебля к длине главного корня, разви-

тие фотосинтетического потенциала и продуктивность козлятника восточного в то время, как бинарный подсев привел к их достоверному снижению. Учитывая эти факты, можем предположить, что усиление роста надземного побега козлятника восточного относительно роста главного корня является реакцией растений на ухудшение условий произрастания.

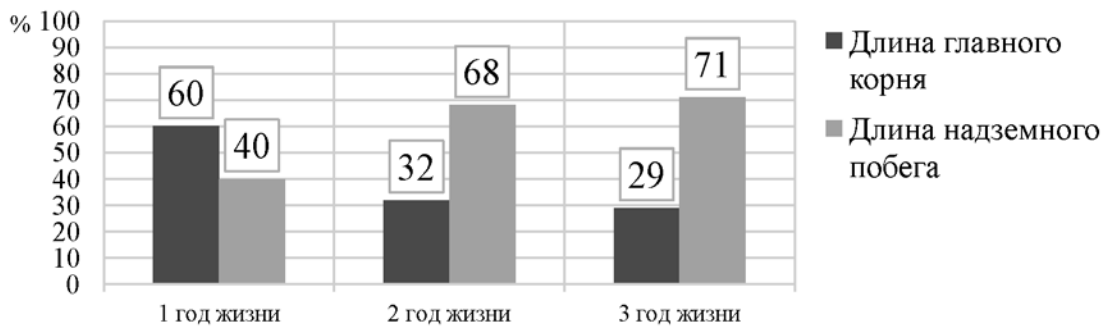


Рис. 5. Отношение длины главного корня к длине стебля козлятника восточного по годам жизни, %

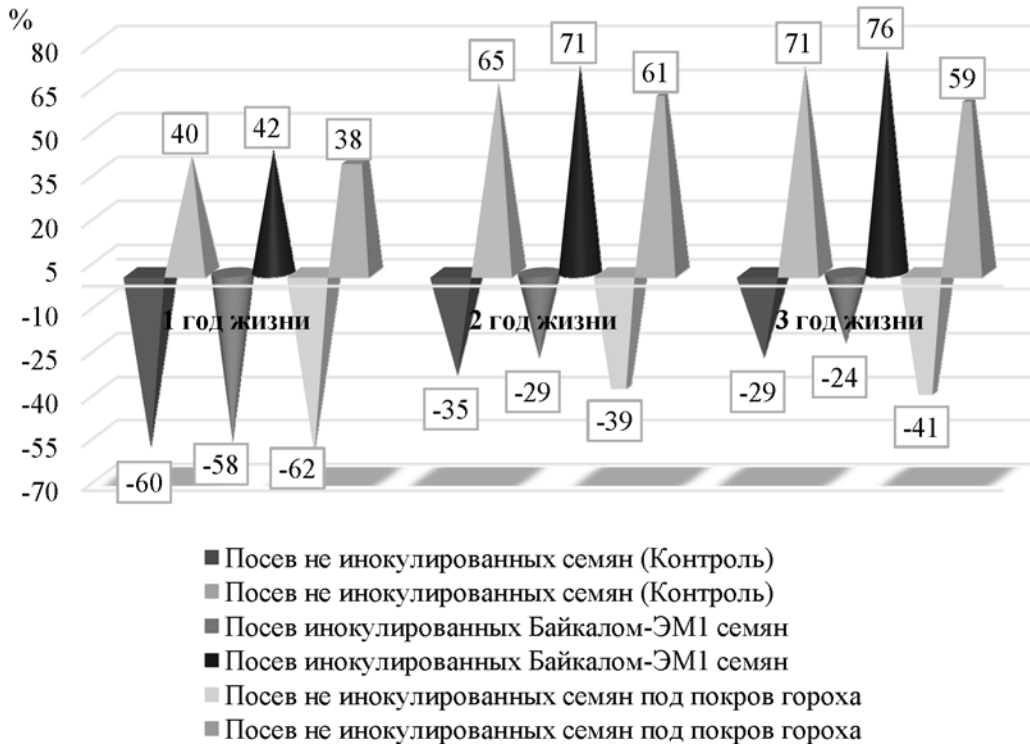


Рис. 6. Отношение длины главного корня к длине стебля козлятника восточного в зависимости от изучаемого приема возделывания, %

Учет корневых остатков козлятника восточного в конце вегетационных периодов показал, что к концу первого года жизни интродуцент формирует до 2,3 т/га сухой корневой массы (СВ), до 4,7 т/га — на второй год и до 7,8 т/га — на третий год возделывания (табл. 1).

На продуктивность корневой системы интродуцента изучаемые технологические приемы возделывания оказали неоднозначное влияние. Применение Байкала-ЭМ1 для предпосевной инокуляции семенного материала способствовало увеличению формирования сухой корневой массы в среднем на 30–36 % в зависимости от года жизни интродуцента к контролю. Отмечено, что наибольший прирост органического вещества подземной системой козлятника наблюдался к концу вегетации второго года жизни, который составил прибавку до 4,7 т/га СВ к контролю при наименьшей существенной разнице $HCP_{05} = 0,5$.

В варианте опыта 3, при посеве козлятника восточного с горохом, наблюдалось существенное снижение формирования продуктивности корневой системы интродуцента во все года исследования в среднем на 25–50 % в сравнении с контролем.

Анализ динамики содержания основных элементов минерального питания в корнях козлятника восточного, в среднем по трем закладкам опыта, показал, что в зависимости от года возделывания содержание азота в корневых остатках растений варьировало от 1,4 до 1,9 %, фосфора до 0,3 % и калия до 1,2 % на сухое вещество (табл. 2).

Биохимический анализ показал, что применение микробиологического удобрения способствовало увеличению концентрации азота в корнях растений на второй и третий года возделывания на 10–14 % по сравнению

с контрольными показателями. В варианте опыта с бинарным посевом интродуцента увеличение содержания азота на 13 % в сравнение с контролем, отмечено на 3-й год вегетации культуры.

Таблица 1.

Накопление подземной биомассы козлятником восточным

Вариант опыта	Масса корней, т/га		± СВ, т/га
	сырых	СВ	
1 год вегетации			
Вариант опыта 1	7,8	1,6	–
Вариант опыта 2	10,8	2,3	+0,7
Вариант опыта 3	5,0	1,2	-0,4
НСР ₀₅			0,48
2 год вегетации			
Вариант опыта 1	13,3	3,0	–
Вариант опыта 2	21,7	4,7	+4,7
Вариант опыта 3	9,2	2,2	-0,8
НСР ₀₅			0,5
3 год вегетации			
Вариант опыта 1	24,4	5,2	–
Вариант опыта 2	37,1	7,8	+2,6
Вариант опыта 3	10,7	2,6	-2,6
НСР ₀₅			0,35
В среднем			
Вариант опыта 1	15,2	3,3	–
Вариант опыта 2	23,2	4,9	+1,6
Вариант опыта 3	8,3	2,0	-1,3
Примечание: СВ — сухое вещество			

Таблица 2.

Динамика содержания основных элементов минерального питания в корнях козлятника восточного по годам жизни растений, % СВ

Вариант опыта	N, %			P ₂ O ₅ , %			K ₂ O, %		
	Год жизни								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вариант опыта 1	1,6	1,7	1,5	0,3	0,3	0,3	1,0	0,6	0,3
Вариант опыта 2	1,6	1,9	1,7	0,2	0,3	0,3	1,1	0,7	0,6
Вариант опыта 3	1,6	1,5	1,7	0,3	0,3	0,2	1,1	0,7	0,3
В среднем по вариантам опыта	1,6	1,7	1,6	0,3	0,3	0,3	1,1	0,8	0,4

Необходимо отметить, что изучаемые приемы возделывания продолжительность возделывания козлятника

ка восточного на кислых песчаных почвах Сургутского района и не оказали влияния на содержание фосфора в корневых остатках. Исследуемый показатель варьировал в пределах от 0,2 до 0,3 % на СВ. Отмечено, что с увеличением возраста травостоя наблюдается снижение концентрации калия в растительных образцах по всем изучаемым вариантам опыта, в среднем с 1,1 до 0,3 % на СВ. При этом содержание K₂O в корнях растений третьего года жизни инокулированных перед посевом превышала контрольный показатель в 2 раза и составило 0,6 % на СВ.

За три года исследований установлено, что с корневыми остатками, в зависимости от года возделывания интродуцента и изучаемого приема возделывания, в почву может поступить в среднем от 1,2 до 7,8 т/га сухого вещества, от 36 до 134 кг/га азота, от 4,8 до 23 кг/га подвижного фосфора и от 7 до 46 кг/га обменного калия (табл. 3).

Таблица 3.

Накопление основных питательных веществ в сухой подземной биомассе козлятника восточного, га

Вариант опыта	Вариант опыта 1			Вариант опыта 2			Вариант опыта 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сухое вещество, т	1,6	3,0	5,2	2,3	4,7	7,8	1,2	2,2	2,6
Азот, кг	25,4	50,4	77,0	35,7	87,4	134,2	18,6	33,9	44,7
Подвижный фосфор, кг	4,8	9,0	15,6	4,6	14,1	23,4	3,6	6,6	7,8
Обменный калий, кг	16,0	18,0	17,7	24,2	32,0	46,0	12,7	18,5	7,0

Микробиологическое удобрение Байкал-ЭМ1 применяемое для инокуляции посевного материала обеспечило прибавку поступления органического вещества в пахотный горизонт с корневыми остатками козлятника восточного к концу третьего года вегетации в среднем на 13 т/га, что эквивалентно внесению 38,4 т/га навоза, на 13 т/га азота, на 3,4 т/га подвижного фосфора, на 6 т/га обменного калия, что также эквивалентно внесению от 5,7 до 17 т/га навоза в сравнении с контрольными показателями. При пересчете на стандартные туки применение Байкала-ЭМ1 способствовало увеличению накопления азота эквивалентное внесению 381 кг/га аммиачной селитры, 45,4 кг/га двойного суперфосфата, 15 кг/га калийной соли при контрольных показателях 219 кг/га, 30 кг/га и 39,3 г/га соответственно.

Таким образом, проведенный нами анализ трехлетнего изучения динамики изменения морфометрических и биохимических показателей корневой системы козлятника восточного и ее продуктивности при интродукции в экстремальных почвенно-климатических условиях Сургутского района показал, что изменение изучаемых показателей в большей степени определяются продол-

жительностью возделывания культуры и изучаемыми приемами возделывания. Полученные данные позволили подтвердить характерную особенность интенсивного роста главного корня относительно роста надземного побега козлятника восточного в год посева и постепенное переориентацию на развитие надземной части в последующие года вегетации интродуцента, что, по нашему мнению, является адаптацией растения в целом к неблагоприятным условиям произрастания. Отмечено, что линейный рост главного корня интродуцента, в большей степени определяется ростом надземного побега.

Корневая система козлятника восточного к концу третьего года вегетации обеспечивает поступление в пахотный горизонт до 7,8 т/га органического вещества в котором аккумулируется до 134 кг/га азота, до 23 кг/га подвижного фосфора и до 46 кг/га обменного калия. В связи с чем *Galega orientalis* Lam. может рассматриваться как перспективная сидеральная культура для возделывания на кислых песчаных почвах Сургутского района. Предпосевная инокуляция Байкалом-ЭМ1 способствовала развитию более мощной и продуктивной корневой системы козлятника восточного во все годы наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа. Том 2. Природа. Экология, Ханты-Мансийск — Москва, 2004. 152 с.
2. Баркалов В.Ю., Прокопенко С.В. *Galega orientalis* Lam. (Fabaceae) — новый вид для адвентивной флоры российского Дальнего Востока. Бюллетень Ботанического сада-института, 2017, №17. С. 45–46.
3. Батыршина Э.Р. Основные технологические приемы возделывания козлятника восточного в одновидовых и смешанных посевах в условиях Среднего Урала :автореф. канд. дис. . . кандидата сельскохозяйственных наук. Москва, 2004. — 15 с.
4. Гульшина И.И. Основные приемы возделывания козлятника восточного (*Galega Orientalis* Lam.) в одновидовых и смешанных посевах в условиях лесостепи ЦЧР. Автореф. канд. дис. . . кандидата сельскохозяйственных наук. Москва, 2000. — 24 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. Москва: Колос, 1973. — 335 с.
6. Кшникаткина А.Н., Гушина В.А., Варламов В.А., Галиуллин А.А. Продукционный процесс агрофитоценозов козлятника восточного в условиях среднего Поволжья. Сельскохозяйственная биология, 2003, №2. С. 101–107.
7. Лапина Е.А. (Моисеева Е.А.) Биоморфологические особенности развития козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) на подзолистых почвах средней тайги Западной Сибири (первый год интродукции) / Е.А. Лапина, Л.Ф. Шепелева // Проблемы современной биологии: материалы XII Международной научно-практической конференции. Москва, 15 апреля. — Москва, 2014. — С. 27–35.
8. Лапина Е.А. (Моисеева Е.А.) Эколого-биоморфологические особенности развития козлятника восточного (*Galega orientalis* L.) первого года интродукции в условиях средней тайги Западной Сибири / Е.А. Лапина, Л.Ф. Шепелева // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2014. — № 6 (167). — С. 30–35.
9. Литвяк Г.К. Продуктивность козлятника восточного на корм и семена в зависимости от нормы высева и способа посева в условиях Оренбургского Предуралья. Автореф. канд. дис. . . кандидата сельскохозяйственных наук. Оренбург, 2002. — 17 с.
10. Моисеева Е.А. Перспективы возделывания галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) на подзолистых почвах средней тайги Западной Сибири (в условиях Ханты-Мансийского автономного округа-Югры) / Е.А. Моисеева, Р.Х. Бордей, З.А. Самойленко // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. — 2018. — № 3(35). — С. 54–60.
11. Моисеева Е.А. Эколого-биологическая оценка козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) как перспективной культуры для интродукции в условиях г. Сургута / Е.А. Моисеева, Р.Х. Бордей // Вестник КрасГАУ. — 2017. — № 10. — С. 140–147.
12. Пузырева М.Л. Технология возделывания козлятника восточного на корм и семена в подтаежной зоне Томской области: методические рекомендации РАСХН. Сиб. Отд-ние. СибНИИСХиТ / М.Л. Пузырева. — Томск, 2006. — 28 с.
13. Рубан Г.А. Козлятник восточный. Сорт Еля-Ты. Рекомендации производству (Коми НЦ УрО РАН) / Г.А. Рубан., К.С. Зайнуллина. Сыктывкар, 2001. — 20 с.
14. Сагирова Р.А. Онтогенетический морфогенез галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) как перспективного кормового растения / Р.А. Сагирова // Сельскохозяйственная биология. — 2009. — №4. — С. 75–80.
15. Станков Н.З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. — 280 с.
16. Фаизов И.Ф. Продуктивность козлятника восточного в чистых и смешанных посевах на обыкновенных черноземах степной зоны Саратовского правобережья. Автореф. канд. дис. . . кандидата сельскохозяйственных наук. Пенза, 2004. — 28 с.
17. Iwabuchi K. Adaptability and cultivation of Leguminosae galega (*Galega orientalis* Lam.) in Hokkaido (Usefulness, cultivation and feeding value of galega (*Galega orientalis* Lam.) in Hokkaido). Journal of the Japanese Grassland Society, 2012, 58 (2): 113–121 (doi: 10.14941/grass.58.113).
18. Fairey N.A., Lefkovich L.P., Coulman B.E., Fairey D.T., Kunelius T., McKenzie D.B., Michaud R., Thomas W.G. Cross-Canada comparison of the productivity of fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) with traditional herbage legumes. Canadian Journal of Plant Science, 2000, 80(4): 793–800 (doi: 10.4141/P99-162).
19. Österman J., Chizhevskaja E.P., Andronov E.E., Fewer D.P., Terefework Z., Roumilantseva M.L., Onichtchouk O.P., Dresler-Nurmi A., Simorov B.V., Dzyubenko N.I. and Lindström K. (2011). *Galega orientalis* is more diverse than *Galega officinalis* in Caucasus—whole-genome AFLP analysis and phylogenetics of symbiosis-related genes. Molecular Ecology, 2011, 20(22): 4808–4821 (doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05291).

© Моисеева Екатерина Алексеевна (lapinaea_vizit@mail.ru); Бордей Римма Ханифовна (ar80@yandex.ru);

Ложкина-Гамецкая Наталья Ивановна (L-G.surgpu@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»