УДК 631.82:631.559:633.88

В.В. Сухоцкая, Н.Н. Жаркова, Ю.И. Ермохин

ВЛИЯНИЕ МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ (ECHINACEA PURPUREA)

V.V. Sukhotskaya, N.N. Zharkova, Yu. I. Ermokhin

THE INFLUENCE OF COPPER FERTILIZERS ON THE FORMATION OF THE YIELD OF MEDICINE RAW MATERIAL ECHINACEA PURPLE (ECHINACEA PURPUREA)

Сухоцкая В.В. **–** асп. каф. агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, г. Омск. E-mail: vv.sukhotskaya350601@omgau.org

Жаркова Н.Н. **–** канд. с.-х. наук, доц. каф. экологии, природопользования и биологии Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, г. Омск. E-mail: nn.zharkova@omgau.org

Ермохин Ю.И. **–** д-р с.-х. наук, проф. каф. агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, г. Омск. E-mail: yui.ermokhin@omgau.org

Sukhotskaya V.V. **–** Post-Graduate Student, Chair of Agrochemistry and Soil Science, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk. E-mail: vv.sukhotskaya350601@omgau.org

Zharkova N.N. **–** Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology, Environmental Management and Biology, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk E-mail: nn.zharkova@omgau.org

Ermokhin Yu.I. **–** Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Agrochemistry and Soil Science, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk. E-mail: yui.ermokhin@omgau.org

Представлены результаты исследования 2016–2017 гг., выполненного в Омской области. Цель исследований – изучить влияние медных удобрений на урожайность лекарственного сырья эхинацеи пурпурной. Объектами служили: эхинацея пурпурная (Echinacea purpurea), почва лугово-черноземная, микроудобрение (ацетат меди). Полевой опыт был заложен в 2016 г. на опытном поле Омского ГАУ на маломощной малогумусовой среднесуглинистой почве. Опыт закладывали в четырехкратной повторности. В качестве медных удобрений использовали ацетат меди ($(CH_3COO)_2Cu$ – 32 %), который вносили по фону N_{125} в дозах 0,25–0,5–0,75–1,0 ПДК Cu (2,3 – 9,4 кг д.в/га). Уборку лекарственного сырья (зеленой массы и соцветий) эхинацеи пурпурной проводили методом прямого поделяночного взвешивания в фазе массового цветения. Установлено, что использование ацетата меди под Echinacea позволяет повысить урожайность данной культуры. В опыте 2016–2017 гг. при разовом внесении меди прибавки урожайности эхинацеи пурпурной составляли 1,4 и 9,6 т/га на варианте фон + 0,25 ПДК Cu и фон + ПДК Cu соответственно. Положительное влияние на накопление общей биомассы за время исследований (действие и последействие) оказали медьсодержащие удобрения в дозе 9,4 кг д.в./га, урожайность составила 26,2 т/га. Установлена прямая функциональная связь между дозами применяемой меди и урожайностью эхинацеи пурпурной. Каждый килограмм внесенной меди в почву увеличивает урожайность эхинацеи пурпурной на 1,18 т/га, коэффициент корреляции (r=0,99).Таким образом, применяемые дозы солей медных удобрений в пределах 0,75 ПДК (7,0 кг/га) и 1 ПДК (9,4 кг/га) оказали положительное влияние на урожайность эхинацеи пурпурной.

Ключевые слова*: эхинацея пурпурная (Echinacea purpurea), ацетат меди, урожайность, лугово-черноземная среднесуглинистая маломощная малогумусовая почва.*

The results of the study of 2016–2017, performed in Omsk Region, were presented. The purpose of the research was to study the effect of copper fertilizers on the yield of medicinal raw materials of Echinacea purpurea. The objects were Echinacea purpurea, meadow chernozyom soil, microfertilizer (copper acetate). Field experiment was laid in 2016 on experimental field of Omsk State Agrarian University on low-power low-humus medium loamy soil. The experiment was laid in quadruplicate. As copper fertilizers copper acetate

($(CH_3COO)_2Cu$ – 32 %) was used, which was applied on the background of N_{125} in the doses of 0.25–0.5–0.75–1.0 MPC of Cu (2.3–9.4 kg of the fertilizer per hectare). The harvesting of medicinal raw material (green mass and inflorescences) of Echinacea purpurea was carried out by the method of direct sub-stage weighing in the mass flowering phase. It was established that using copper acetate under Echinacea allowed increasing the yield of the crop. In the experiment of 2016–2017 under single copper application, the yield increments of Echinacea purpurea were 1.4 and 9.6 t/hectare in the background version + 0.25 MPC Cu and the background + MPC Cu, respectively. Positive effect on the accumulation of total biomass during the time of the investigation (effect and aftereffect) was provided by copper-containing fertilizers in the dose of 9.4 of the fertilizer per hectare, the yield was 26.2 t/hectare. Direct functional relationship between the doses of copper used and the yield of Echinacea purpurea was established. Each kilogram of the copper added to the soil, increased the yield of Echinacea purpurea by 1.18 t/hectare, the correlation coefficient (r = 0.99). Thus, applied doses of copper fertilizer salts in the range of 0.75 MAC (7.0 kg / hectare) and 1 MAC (9.4 kg / hectare) had positive effect on the yield of Echinacea purpurea.

***Keywords**: Echinacea purpurea, copper acetate, yield, meadow-chernozyom heavy loamy soil.*

Введение. По рекомендациям ФАО, каждая страна должна обеспечивать свое население качественными и безопасными продуктами питания собственного производства. Этого можно достичь лишь при выращивании сельскохозяйственных растений, в том числе лекарственных, используя современные агрохимические технологии, которые обеспечивают сбалансированное питание сельскохозяйственных культур макро- и микроэлементами.

Использование человеком лекарственных растений началось давно, и по истечении многих лет накоплен колоссальный опыт в этой сфере. Возросший интерес к лекарственному растительному сырью (ЛРС) в последнее время связан с тем, что его применение не имеет границ. Оно используется как в народной, так и официальной медицине, в отраслях промышленности (парфюмерно-косметическая, фармацевтическая и др.), а также в быту (красители, пищевые добавки) и сельском хозяйстве (медоносы, кормовые культуры и др.) [1].

Постоянное изменение экологических условий под воздействием хозяйственной деятельности человека существенно сокращает ареалы произрастания лекарственных растений. Особенно уязвимы те, которые, кроме лекарственных свойств, обладают рядом других, к примеру декоративными. Стремительное сокращение запасов лекарственных трав требует принятия быстрых и эффективных мер по регламентации заготовки ЛРС. Одной из таких действенных мер является введение лекарственных растений в культуру, что позволяет получать желаемые урожаи с соответствующим качеством сырья. При этом промышленное выращивание растений позволяет посредством использования интродукции возделывать нетрадиционные лекарственные растения, обладающие уникальными свойствами [2].

Применение и использование в медицинской практике лекарственных препаратов природного происхождения достаточно перспективно, так как растительное сырье обладает высокой биологической активностью соединений, с одной стороны, и их низкой токсичностью – с другой [3].

Продуктивность растениеводства в значительной степени зависит от обеспеченности растений как макро-, так и микроэлементами. Несмотря на содержание микроэлементов в растениях в тысячных и стотысячных долях, в большинстве случаев их недостаток или избыток играет определяющую роль, в том числе в повышении урожайности.

Медь принимает участие в образовании ферментов, азотном, углеводном, белковом и фенольном обменах веществ, а также увеличивает интенсивность фотосинтеза и дыхания растений [4]. Дефицит или избыток меди приводит к отклонениям в развитии культур (снижается интенсивность фотосинтеза, устойчивость к заболеваниям, образование РНК).

Медьсодержащие удобрения имеют большое значение для придания растениям засухо- и морозоустойчивости, резистентности к бактериальным заболеваниям [5].

Недостаток многих макро- и микроэлементов в почвах является одной из наиболее важных проблем питания растений. Медь находится в числе основных микроэлементов, дефицит которых отмечен в почвах на территории Омской области. Установлено низкое содержание меди более чем на 50 % обследованной площади [6, 7].

В условиях Западной Сибири исследованиями Ю.И. Ермохина, Н.Н. Тищенко установлено положительное влияние медных удобрений на

урожайность и качество лекарственного сырья таких культур, как *Achillea millefolium* L. и *Tanacetum vulgare* L. [8, 9].

Применение комплексных удобрений, в том числе содержащих медь, в настоящее время более чем перспективное направление, так как до сих пор остается неизученной система оптимизации минерального питания эхинацеи пурпурной с применением микроэлементов.

Одним из простых, но эффективных приемов применения удобрений является их предпосевное внесение. Данный способ позволяет растениям усваивать микроэлементы уже в самом начале роста.

Эхинацея пурпурная (рис. 1) родом из Северной Америки. Многолетнее лекарственное растение. В качестве растительного сырья используются целые растения и свежие корневища. Препараты, полученные на основе эхинацеи пурпурной, обладают большим спектром действия: иммуностимулирующим, противовоспалительным, болеутоляющим и др., и поэтому ее интродукция в культуру как лекарственного растения представляет интерес для нашего региона.

Рис. 1. Эхинацея пурпурная (фаза цветения), 2017 г.

В настоящее время на территории бывшего СССР основными зонами возделывания эхинацеи пурпурной остаются: Украина, Республика Беларусь, Литва и Эстония. В России это опытные станции ВИЛАРа – Северный Кавказ, Самарская и Белгородская области. Имеется ряд данных о проведении опытов с эхинацеей пурпурной на всей территории РФ. В условиях Западной Сибири впервые проведены опыты по применению микроудобрений под это лекарственное растение с целью повышения урожайности и качества данной культуры.

Цель исследований. Изучить влияние медных удобрений на урожайность лекарственного сырья эхинацеи пурпурной.

Методы исследований. Объектами нашего исследования служили: эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*), почва лугово-черноземная, микроудобрения (ацетат меди).

Полевой опыт был заложен в 2016 г. на базе Омского ГАУ на лугово-черноземной малогумусовой среднесуглинистой почве. Предшественником в опыте являлся чистый пар.

Агрохимическая характеристика лугово-черноземной почвы при закладке опыта была следующая: $N\text{-}NO_3$ – 12,5; P_2O_5 – 110; K_2O – 247; Cu -0,40 мг/кг почвы в слое 0-30 см.

Полевой опыт закладывали в четырехкратной повторности. Размещение вариантов рендомизированное, со сдвигом на две делянки. Схема опыта: 1. Без удобрений (контроль). 2. Фон (N_{125}). 3.Фон + 0,25 ПДКCu (2,3 кг/га). 4. Фон + 0,5 ПДКCu (4,7 кг/га). 5. Фон + 0,75 ПДК Cu (7,0 кг/га). 6. Фон + ПДК Cu (9,4 кг/га).

В качестве фона использовали аммиачную селитру (N – 34 %), микроэлемент вносили в

форме ацетата меди ($(CH_3COO)_2Cu$ – 32 %).

Уборку урожая зеленой массы и соцветий эхинацеи пурпурной проводили методом прямого поделяночного взвешивания в фазе массового цветения.

Оценку опытных данных и выявление различных взаимосвязей в системе «почва – удобрение – растение» осуществляли методами дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов.

Результаты исследований и их обсуждений. Влияние макро- и микроудобрений на процессы роста и развития лекарственных культур в течение вегетации находят отражение в изменении урожайности [10].

В 2016–2017 гг. в опыте по изучению применения медных удобрений под эхинацею пурпурную (*Echinacea purpurea)* на лугово-черноземной почве южной лесостепи Омской области были выявлены закономерности действия и последействия различных доз Cu на урожайность лекарственного сырья. Полученные данные показывают, что применение различных доз медных удобрений приводит к значительному росту урожайности исследуемой культуры (табл.).

Урожайность эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea)* и окупаемость удобрений урожаем в зависимости от доз меди

Вариант опыта	Урожайность биомассы, т/га		Средняя урожайность биомассы, т/га	Урожайность биомассы за 2 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг меди (Cu) урожаем, кг
	2016 г.	2017 г.			т/га	%	
Контроль (без удобрений)	2,0	13,7	7,9	15,7	-	-	-
Фон (N_{125})	2,2	14,4	8,3	16,6	0,9	5,4	-
N_{125}+0,25ПДК Cu	2,2	15,8	9,0	18,0	2,3	12,8	1000,0
N_{125}+0,5 ПДК Cu	2,4	19,4	10,9	21,8	6,1	28,0	1297,9
N_{125}+0,75 ПДК	2,6	22,1	12,4	24,8	9,1	36,7	1300,0
N_{125}+ ПДК	2,6	23,5	13,1	26,2	10,5	40,1	1117,0
$НСР_{05}$	0,13	0,7					

Исследования в 2016 г. показали, что эхинацея пурпурная в условиях Западной Сибири способна за вегетацию сформировать полноценный укос и при внесении меди обеспечить урожайность 2,2–2,6 т/га. В 2017 г. установлено, что урожайность эхинацеи пурпурной увеличилась по сравнению с предыдущим годом и при использовании медных удобрений на оптимальном азотном фоне составила 15,7–23,5 т/га.

В первый и последующий год роста и развития эхинацеи пурпурной применение меди в различных дозах от 0,25 до 1 ПДК способствовало большой отзывчивости данной культуры, что сказалось на повышении урожайности по сравнению с контролем. Так, средние прибавки урожая варьировали от 2,3 т/га (12,8 %) при внесении Фон+0,25 ПДК Cu до 10,5 т/га (40,1 %) на варианте Фон + ПДК Cu.

В то же время, если полученные прибавки урожайности от внесения различных доз меди связать с окупаемостью одного килограмма удобрений урожаем, то максимальное значение этого показателя (1300,0 кг) было получено при внесении Фон+0,75 ПДК Cu. Последующее увеличение дозы меди до 1 ПДК Cu (урожайность – 23,5 т/га) привело к снижению окупаемости до 1117,0 кг на один килограмм внесенных медных удобрений.

Сравнивая данные по годам исследований, можно заключить: в 2017 г. урожайность эхинацеи пурпурной в разы выше (7–9 раз) в сравнении с урожайностью 2016 г. Этот факт можно объяснить тем, что исследуемая лекарственная культура является многолетней и в первый год после посадки у растений еще слабо сформировалась корневая система, которая не смогла

обеспечить вегетативную массу необходимым количеством элементов минерального питания для создания высокого урожая. В 2017 г. корневая система растений окончательно сформировалась, что обеспечило максимальное использование элементов питания из почвы и почвенной влаги.

В первый год действия медных удобрений наибольшая урожайность отмечалась на варианте Фон+0,75 ПДК Cu (2,6 т/га), во второй год последействия максимальная продуктивность *Echinacea purpurea* была отмечена на варианте Фон + ПДК Cu (23,5 т/га).

Рассматривая действие и последействие медных удобрений на формирование биомассы лекарственного растительного сырья *Echinacea purpurea*, можно отметить, что повышение урожайности происходит с увеличением дозы применяемого удобрения (рис. 2, 3, уравнения 1, 2). Каждый килограмм однократно внесенного медьсодержащего удобрения увеличивает урожайность эхинацеи пурпурной на 0,068 ($У_1$,) в 2016 г. и 1,1 т/га ($У_2$) в 2017 г.

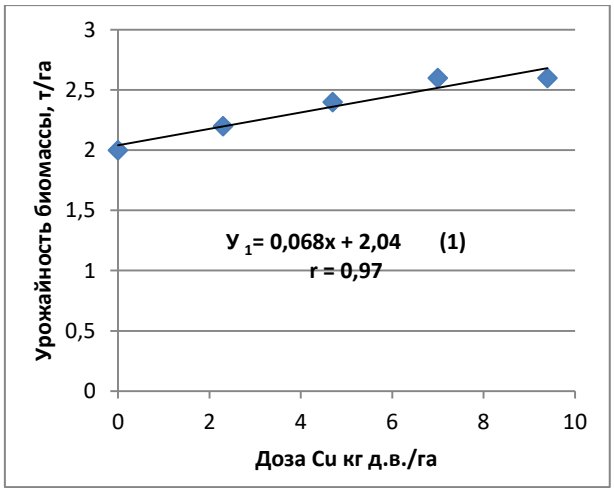

Рис. 2. Зависимость урожайности эхинацеи пурпурной от внесения различных доз Cu, 2016 г.

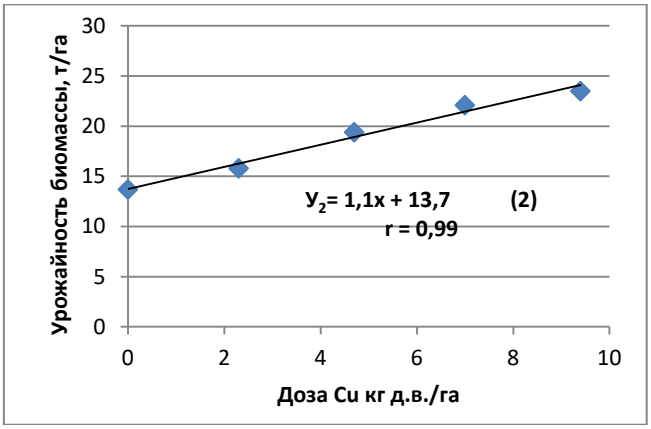

Рис. 3. Зависимость урожайности эхинацеи пурпурной от внесения различных доз Cu, 2017 г.

Исследования 2016–2017 гг. показывают, что в год действия (2016 г.) меди наибольшая продуктивность отмечена при внесении 7 кг/га Cu (Фон + 0,75 ПДК Cu), в год последействия (2017 г.) – 9,4 кг/га (Фон + ПДК Cu). Максимальная урожайность эхинацеи пурпурной за 2 года исследований составила 26,2 т/га.

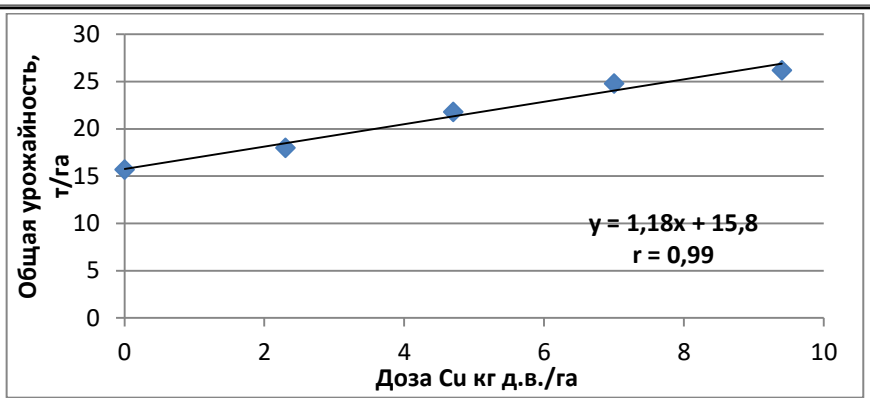

Рис. 4. Математическая модель связи урожайности эхинацеи пурпурной с действующими дозами применения меди, 2016–2017 гг.

На основе использования метода обратной связи внесенного элемента Cu (x, кг/га) в системе «удобрение Cu ↔ урожай растений (У т/га)», в виде идентификации ответной реакции растений (урожаем) на внесение элемента питания с удобрением, установлена высокая корреляционная связь (r=0,99), которая характеризуется уравнением на рисунке 4.

Согласно уравнению (3), каждая разово внесенная доза медного удобрения в слой почвы 0-30 см в процессе действия и последействия повышает урожайность эхинацеи пурпурной на 1,18 т/га (рис. 3). На сильную связь между урожайностью и дозами удобрений, вносимых под эхинацею пурпурную, указывает полученный коэффициент корреляции (r=0,99).

Зная действие одного килограмма меди на урожайность культуры и 1 ПДК (9,4 кг д.в/га), можно провести прогноз расчета доз Cu, используя количественные нормативы прибавки урожая (П=10,5 т/га) и коэффициент «*b*»$_{Cu}$ = 1,18

$$Д_{Cu,\ кг/га} = П/«b»_{Cu} = 10,5/1,18 = 8,9 \text{ кг Cu/га.}$$

Фактические урожайные данные эхинацеи пурпурной в пределах 24,8–26,2 т/га были получены от внесения Cu 8,9 кг/га, ((7,2 кг+10,5 кг)/2), что соответствует опытным данным с применением Cu в дозах 8,2 ((7,2 +9,1)/2) кг/га.

Согласно имеющимся данным за два года действия и последействия удобрений, высокая урожайность биомассы лекарственного сырья составила 26,2 т/га, а на контроле (без удобрений) – 15,8 т/га. Исходя из этого, можно произвести расчет доз меди по формуле

$$Д_{Cu/га} = C_1 + (ПУ_т + ФУ_т)/ «b»;$$

$$Д_{Cu/га} = 0,40 \text{ мг/кг} + (26т + 15,8 т) / 1,18 = 9,3 \text{ кг/га.}$$

Фактически внесенная лучшая (по урожайности) доза меди в опыте составляла 9,4 кг/га. Таким образом, наши расчеты подтвердили правильность выбранных доз меди.

Заключение. Эхинацея пурпурная пригодна для возделывания в условиях Западной Сибири, но требует соблюдения агротехники. В результате проведенных нами полевых исследований и полученных математических данных за 2 года возможно сделать вывод, что применяемые дозы солей медных удобрений в пределах 0,75 ПДК (7,0 кг/га) и 1 ПДК (9,4 кг/га) оказали положительное влияние на урожайность эхинацеи пурпурной. Установленный коэффициент «*b*» позволяет осуществлять прогнозирование доз медных удобрений в ранние фазы развития растений с целью повышения продуктивности лекарственного сырья эхинацеи пурпурной.

Литература

1. *Рыбашлыкова Л.П.* Агроприемы повышения эффективности выращивания лекарственных культур в условиях капельного орошения на светло-каштановых почвах северного прикаспия: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Волгоград, 2015. – 20 с.
2. *Буданцев А.Л., Лесиовская Е.Е.* Дикорастущие полезные растения России. – М.; СПб.: Изд-во СПХФА, 2001. – 663 с.
3. *Романюк А.Н.* Динамика изменений органометрических показателей надпочечных желез половозрелых крыс-самцов после завершения ингаляций толуола и введения настойки эхинацеи пурпурной им на протя-

жении двух месяцев // Украинский морфологический альманах. – 2011. – № 2. – С. 5–7.
4. *Анспок П.И.* Микроудобрения: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
5. Практикум по агрохимии / *Б.А. Ягодин* [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
6. *Красницкий В.М.* Агрохимическая характеристика и плодородие почв Омской области. – Омск, 1999. – 51 с.
7. *Орлова Э.Д., Пыхтарева Е.Г.* Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие. – Омск : Изд-во ОмГАУ, 2006. – 70 с.
8. *Ермохин Ю.И., Тищенко Н.Н., Сидоренко В.В.* Агроэкологическая оценка влияния микроэлементов на урожайность и качество лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (16). – С. 33–40.
9. *Тищенко Н.Н., Ермохин Ю.И., Симанова С.С.* Почвенная диагностика потребности пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в меди на лугово-черноземной почве в агроэкологических условиях Омского Прииртышья // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования: сб. мат-лов, посвящ. 80-летию со дня рождения профессора, основателя и руководителя научной школы Ю.И. Ермохина. – Омск, 2015. – С. 129–133.
10. *Ермохин Ю.И., Кочергин А.Е.* Применение удобрений под программируемый урожай сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири. – Омск: Изд-во ОмСХИ, 1983. – 60 с.

Literatura

1. *Rybashlykova L.P.* Agropriemy povyshenija jeffektivnosti vyrashhivanija lekarstvennyh kul'tur v uslovijah kapel'nogo oroshenija na svetlo-kashtanovyh pochvah severnogo prikaspija: avtoref. dis. … kand. s.-h. nauk. – Volgograd, 2015. – 20 s.
2. *Budancev A.L., Lesiovskaja E.E.* Dikorastushhie poleznye rastenija Rossii. – M.; SPb.: Izd-vo SPHFA, 2001. – 663 s.
3. *Romanjuk A.N.* Dinamika izmenenij organometricheskih pokazatelej nadpochechnyh zhelez polovozrelyh krys-samcov posle zavershenija ingaljacij toluola i vvedenija nastojki jehinacei purpurnoj im na protjazhenii dvuh mesjacev // Ukrainskij morfologicheskij al'manah. – 2011. – № 2. – S. 5–7.
4. *Anspok P.I.* Mikroudobrenija: spravochnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Agropromizdat, Leningr. otd-nie, 1990. – 272 s.
5. Praktikum po agrohimii / *B.A. Jagodin* [i dr.]. – M.: Agropromizdat, 1987. – 512 s.
6. *Krasnickij V.M.* Agrohimicheskaja harakteristika i plodorodie pochv Omskoj oblasti. – Omsk, 1999. – 51 s.
7. *Orlova Je.D., Pyhtareva E.G.* Mikrojelementy v pochvah i rastenijah Omskoj oblasti i primenenie mikroudobrenij: ucheb. posobie. – Omsk : Izd-vo OmGAU, 2006. – 70 s.
8. *Ermohin Ju.I., Tishhenko N.N., Sidorenko V.V.* Agrojekologicheskaja ocenka vlijanija mikrojelementov na urozhajnost' i kachestvo lekarstvennogo syr'ja tysjachelistnika obyknovennogo // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 1 (16). – S. 33–40.
9. *Tishhenko N.N., Ermohin Ju.I., Simanova S.S.* Pochvennaja diagnostika potrebnosti pizhmy obyknovennoj (*Tanacetum vulgare* L.) v medi na lugovo-chernozemnoj pochve v agrojekologicheskih uslovijah Omskogo Priirtysh'ja // Upravlenie pochvennym plodorodiem i pitaniem kul'turnyh rastenij. Jekologicheskie aspekty prirodopol'zovanija: sb. mat-lov, posvjashh. 80-letiju so dnja rozhdenija professora, osnovatelja i rukovoditelja nauchnoj shkoly Ju.I. Ermohina. – Omsk, 2015. – S. 129–133.
10. *Ermohin Ju.I., Kochergin A.E.* Primenenie udobrenij pod programmiruemyj urozhaj sel'skohozjajstvennyh kul'tur v uslovijah Zapadnoj Sibiri. – Omsk: Izd-vo OmSHI, 1983. – 60 s.