

---

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

---

**Наталья Николаевна Жаркова  
Валентина Владимировна Сухоцкая  
Юрий Иванович Ермохин**

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина

Представлены результаты изучения влияния цинковых удобрений при выращивании лекарственных культур в условиях южной лесостепи Западной Сибири (Омская область). Полевой опыт проводился в течение 2012–2018 гг. на опытном поле Омского ГАУ. Объектами исследований служили лекарственные растения – тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) сорта White Beauty, эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) сорта Знахарь и лугово-чернозёмная почва. Предшественник – чистый пар. Ацетат цинка в опыте с тысячелистником обыкновенным вносили на фоне полного минерального удобрения в расчёте  $N_{135}P_{45}K_{45}$ , в опыте с эхинацеей пурпурной –  $N_{125}$ . Дозы цинковых удобрений (с учётом содержания в почве до посадки и предельно допустимой концентрации цинка 23 мг/кг) составили в опыте с тысячелистником обыкновенным – 20, 40, 60 и 80 кг д. в./га, с эхинацеей пурпурной – 10,7; 21,4; 32,4 и 42,8 кг д. в./га. Применение цинковых удобрений в основное внесение под лекарственные культуры (*Achillea millefolium* L., *Echinacea purpurea* L.) способствовало повышению их урожайности. В сумме за годы исследований (2012–2014 гг. и 2016–2018 гг.) максимальная прибавка урожая тысячелистника обыкновенного получена при внесении ацетата цинка в дозе 60 кг д. в./га (0,75 ПДК Zn), эхинацеи пурпурной – 21,4 кг д. в./га (0,5 ПДК Zn), результаты достоверны при  $p < 0,05$ . За 3 года исследований каждый внесённый в почву килограмм ацетата цинка повышал урожайность тысячелистника обыкновенного на 0,05 т/га ( $r = 0,95$ ). Урожайность эхинацеи пурпурной повышалась с увеличением дозы цинковых удобрений до 21,4 кг д. в./га, при дальнейшем увеличении отмечалось снижение продуктивности. Связь между дозами цинковых удобрений и урожайностью эхинацеи пурпурной полиномиальная ( $r = 0,65$ ).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лугово-чернозёмная почва, тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.), цинковые удобрения, урожайность.

## **EFFICIENCY OF APPLYING ZINC FERTILIZERS FOR GROWING MEDICINAL PLANTS IN THE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA**

**Natalya N. Zharkova  
Valentina V. Sukhotskaya  
Yuri I. Ermokhin**

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

The authors present the results of studying the effect of zinc fertilizers in the cultivation of medicinal plants in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia (Omsk Oblast). The field experiment was conducted in 2012–2018 in the experimental plot of Omsk State Agrarian University. The objects of research were meadow-chernozem soil, common yarrow (*Achillea millefolium* L.) of the White Beauty cultivar, and purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) of the Znakhar cultivar. The previous cropping period was naked fallow. In the experiment with common yarrow zinc acetate was applied on the background of complete mineral fertilizer in the dose of  $N_{135}P_{45}K_{45}$ , and in the dose of  $N_{125}$  in the experiment with purple coneflower. The doses of zinc fertilizers (with the account of zinc content in the soil before planting and the maximum permissible zinc concentration of 23 mg/kg) were 20, 40, 60, and 80 kg a.i./ha in the experiment with common yarrow, and 10.7, 21.4, 32.4, and 42.8 kg a.i./ha with purple coneflower. The application of zinc fertilizers for basal fertilizing of medicinal plants (*Achillea millefolium* L., *Echinacea purpurea* L.) contributed to an increase in their yield. In total over the years of research (2012–2014 and 2016–2018) the maximum increase in the yield was obtained when zinc acetate was applied in the dose of 60 kg a.i./ha (0.75 MPC of Zn) for common yarrow, and in the dose of 21.4 kg a.i./ha (0.5 MPC Zn) for purple coneflower; the results were reliable at  $p < 0.05$ . During 3 years of research each 1 kg of zinc acetate applied into the soil increased the yield of common yarrow by 0.05 t/ha ( $r = 0.95$ ). The yield of purple coneflower increased with the increase in the dose of zinc fertilizers up to 21.4 kg a.i./ha; with a further dose increase a decrease in the yield was noted. The relationship between the doses of zinc fertilizers and yields of purple coneflower was polynomial ( $r = 0.65$ ).

**KEYWORDS:** meadow-chernozem soil, common yarrow (*Achillea millefolium* L.), purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.), zinc fertilizers, yield.

**Введение**

Определённые химические элементы, называемые микроэлементами, в небольших количествах необходимы для метаболизма растений. Их недостаток может привести к метаболическим нарушениям, которые влияют на продуктивность и качество растениеводческой продукции. К таким элементам относятся цинк, железо, марганец, медь, никель и молибден [5, 11, 12].

Цинк является незаменимым микроэлементом, необходимым для нормальной жизнедеятельности растений. Он действует как функциональный и структурный кофактор большого количества ферментов, участвующих в клеточном обмене веществ. Взаимодействуя с фосфолипидами мембранных белков, он способствует поддержанию функциональной целостности мембран [15].

Основные симптомы дефицита Zn связаны с нарушением метаболизма ауксина [7, 13], который играет существенную роль в синтезе триптофана, предшественника аминокислот индолилуксусной кислоты [14]. Цинк является важным ферментом, участвующим в фиксации углерода [10], поэтому при недостатке этого элемента фотосинтетическая активность растений значительно снижается. Кроме того, цинк регулирует или входит в структуру ряда других ферментов, участвующих в синтезе белка и метаболизме азота [6, 13].

Вследствие большого разнообразия функций, которые цинк выполняет в растительном организме, его дефицит отрицательно сказывается на продуктивности растениеводческой продукции. Некоторые исследователи отмечают увеличение урожайности сельскохозяйственных культур (от 8 до 20%) при внесении цинковых удобрений [15].

Согласно Zinc Nutrient Initiative (ZNI), из всех питательных микроэлементов в почвах дефицит цинка является наиболее распространённым, затрагивающим более половины сельскохозяйственных земель мира. Так, в Японии, США, Бразилии, Индии, Пакистане, Китае, на Филиппинах недостаток цинка является основной проблемой питания растений [16, 17, 19, 20].

Авторы отчёта *IHS Chemical Economics Handbook: Inorganic Zinc Chemicals* отмечают, что в 2018 г. глобальный дефицит цинка составлял 50–65%, что является серьёзной мировой проблемой. Особенно остро недостаток этого элемента проявляется в почвах в развивающихся странах [8, 15, 18].

В России отмечается недостаточное содержание цинка примерно на 95% пахотных земель, что связано с отсутствием целевого применения микроудобрений. Подобная тенденция выявлена и при агрохимическом обследовании почв Омской области, которые характеризуются низким содержанием цинка [1, 2, 3].

Использование цинксодержащих минеральных удобрений позволяет решить проблему дефицита питательных микроэлементов в почве, что, в свою очередь, способствует биологическому обогащению растений [9]. При биообогащении лекарственных культур в организм человека поступают не только полезные биологически активные вещества, но и дефицитные микроэлементы [4].

Лекарственные растения – тысячелистник обыкновенный и эхинацея пурпурная оказывают противовоспалительное, ранозаживляющее, бактерицидное, иммуномодулирующее, радиопротекторное и др. действия, а также являются источниками большого количества необходимых микронутриентов.

В связи с этим целью представленных исследований являлось изучение влияния различных доз цинковых удобрений на урожайность тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной на лугово-чернозёмной почве.

**Методика эксперимента**

Исследования проводились в 2012–2018 гг. на опытном поле Омского ГАУ (г. Омск, Омская область) в мелкоделяночном полевом опыте.

Почва опытного участка – лугово-чернозёмная малогумусовая маломощная среднесуглинистая.

Агрохимические характеристики почвы следующие:

- гумус – 5,2%;
- N-NO<sub>3</sub> – 10 мг/кг (обеспеченность низкая – метод А.Е. Кочергина);
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 349 мг/кг (обеспеченность высокая – метод Ф.В. Чирикова);
- K<sub>2</sub>O – 749 мг/кг (обеспеченность высокая – метод Ф.В. Чирикова);
- Zn – 0,30–0,65 мг/кг (обеспеченность низкая – атомно-абсорбционный метод);
- pH – 6,5–6,8;
- S – 25,2–28,2 мг-экв./100 г почвы.

Объектами исследований служили лекарственные растения – тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) сорта White Beauty, эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) сорта Знахарь и лугово-чернозёмная почва.

Исследования с тысячелистником обыкновенным проводили в 2012–2015 гг., с эхинацеей пурпурной – в 2016–2018 гг. Погодные условия в годы проведения исследований были типичными для данного региона.

Ацетат цинка в опыте с тысячелистником обыкновенным вносили на фоне полного минерального удобрения в расчёте N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>, в опыте с эхинацеей пурпурной – N<sub>125</sub>. Дозы цинковых удобрений (с учётом содержания в почве до посадки и предельно допустимой концентрации цинка 23 мг/кг) составили в опыте с тысячелистником обыкновенным – 20, 40, 60 и 80 кг д. в./га, с эхинацеей пурпурной – 10,7; 21,4; 32,4 и 42,8 кг д. в./га.

Предшественником лекарственных культур в опытах являлся чистый пар.

Схема полевого опыта включала 6 вариантов.

### Тысячелистник обыкновенный

1. Контроль – без удобрений.
2. N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> – фон.
3. N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> + 0,25 ПДК Zn.
4. N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> + 0,5 ПДК Zn.
5. N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> + 0,75 ПДК Zn.
6. N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> + 1,0 ПДК Zn.

### Эхинацея пурпурная

1. Контроль – без удобрений.
2. N<sub>125</sub> – фон.
3. N<sub>125</sub> + 0,25 ПДК Zn.
4. N<sub>125</sub> + 0,5 ПДК Zn.
5. N<sub>125</sub> + 0,75 ПДК Zn.
6. N<sub>125</sub> + 1,0 ПДК Zn.

Повторность опыта четырёхкратная. Общая и учётная площадь делянки составляла 10 м<sup>2</sup>. Расположение делянок в опыте систематическое.

В качестве минеральных удобрений использовали:

- аммонийную селитру (Naa) – 34,5%;
- суперфосфат двойной – 37%;
- хлористый калий – 60%;
- ацетат цинка – 29,7%.

Макро- и микроудобрения вносили весной в основное внесение с последующей их заделкой.

Учёт урожая производили вручную с учётной площади делянки.

Статистическая обработка экспериментальных данных включала регрессионный и корреляционный анализ, а также расчёт средних (M) и стандартных ошибок средних ( $\pm$ SEM). Для определения взаимосвязей между изучаемыми показателями рассчитывали коэффициент корреляции (r). Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разности при уровне значимости 5%. Достоверными считали значения коэффициентов корреляции при  $p < 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Полевые опыты 2012–2018 гг. доказывают эффективность применения ацетата цинка под лекарственные культуры (тысячелистник обыкновенный и эхинацею пурпурную).

В первые годы роста и развития растений (2012 г., 2016 г.) урожайность тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной при внесении в почву различных доз цинка изменялась соответственно от 0,8 до 1,2 т/га и от 1,7 до 1,9 т/га (табл. 1 и 2).

Наибольшая урожайность тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной отмечалась на варианте 0,5 ПДК Zn (40 и 21,4 кг д. в./га). Прибавка относительно фона составила 0,4 (тысячелистник) и 0,2 (эхинацея) т/га.

В первый год исследований огромное влияние на формирование урожая оказывали биологические особенности культур (слаборазвитая корневая система), что отразилось и на величине биомассы. Поэтому применение цинковых удобрений в первый год жизни растений (2012 г., 2016 г.) не обеспечивало достоверной прибавки урожая (рис. 1 и 2).

Таблица 1. Урожайность абсолютно сухого вещества тысячелистника обыкновенного (2012–2014 гг.)

Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности к фону, т/га	Окупаемость 1 кг д. в. Zn урожаем, т/га
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	В сумме за 2012–2014 гг.		
Без удобрений (контроль)	0,5 ± 0,48	6,4 ± 1,37	16,5 ± 5,98	23,4 ± 7,83	-	-
Фон (N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> )	0,8 ± 0,09	6,6 ± 1,10*	20,5 ± 0,44*	27,9 ± 1,63*	-	-
Фон + 0,25 ПДК Zn (20 кг д. в./га)	1,1 ± 0,29	6,9 ± 0,40*	20,9 ± 0,12*	28,9 ± 0,81*	1,0	0,050
Фон + 0,5 ПДК Zn (40 кг д. в./га)	1,2 ± 0,42	7,2 ± 0,01*	21,9 ± 1,50*	30,3 ± 1,93*	2,4	0,060
Фон + 0,75 ПДК Zn (60 кг д. в./га)	0,8 ± 0,11	8,3 ± 1,18*	22,5 ± 2,33*	31,6 ± 3,62*	3,7	0,062
Фон + ПДК Zn (80 кг д. в./га)	0,9 ± 0,03	7,8 ± 0,50*	22,6 ± 2,47*	31,3 ± 3,00*	3,3	0,040
НСР <sub>05</sub>	0,11	0,5	0,5			

Примечание: \* – различия между вариантами опыта (контролем и фоном) достоверны при p < 0,05.

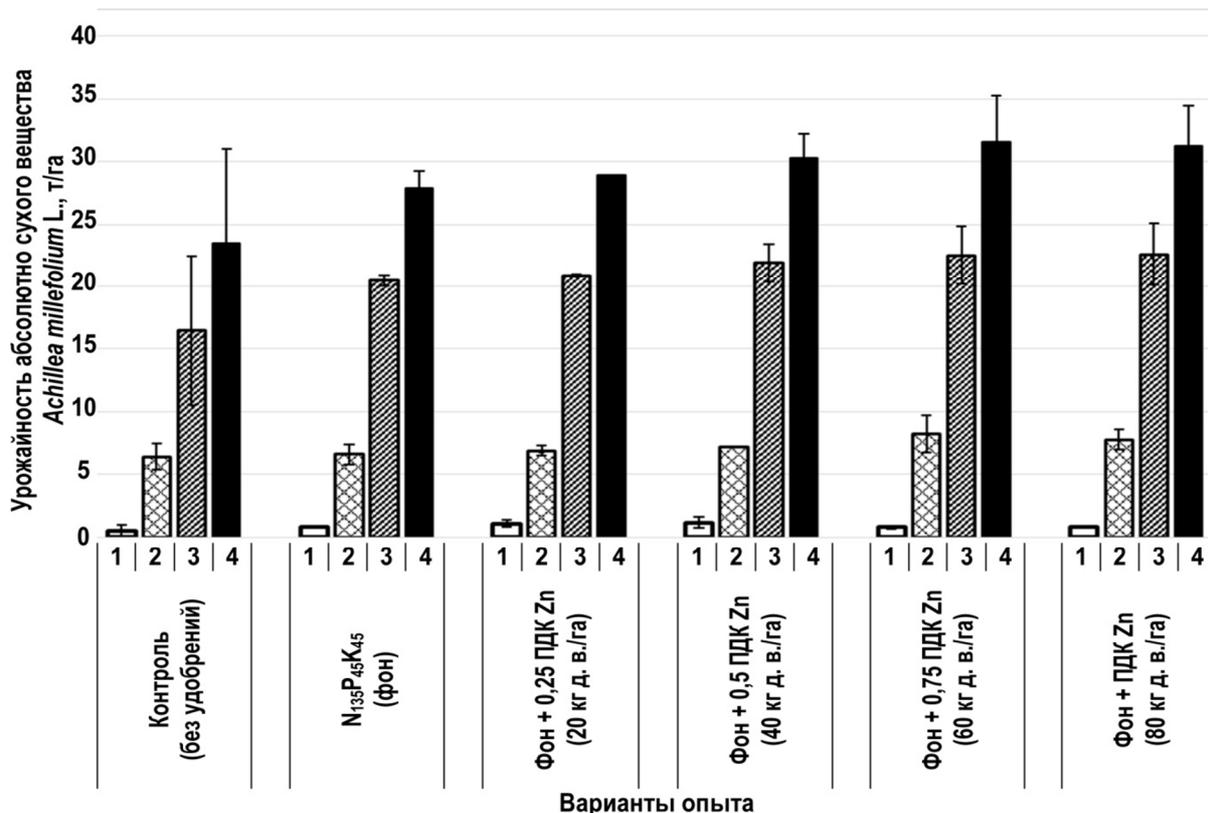


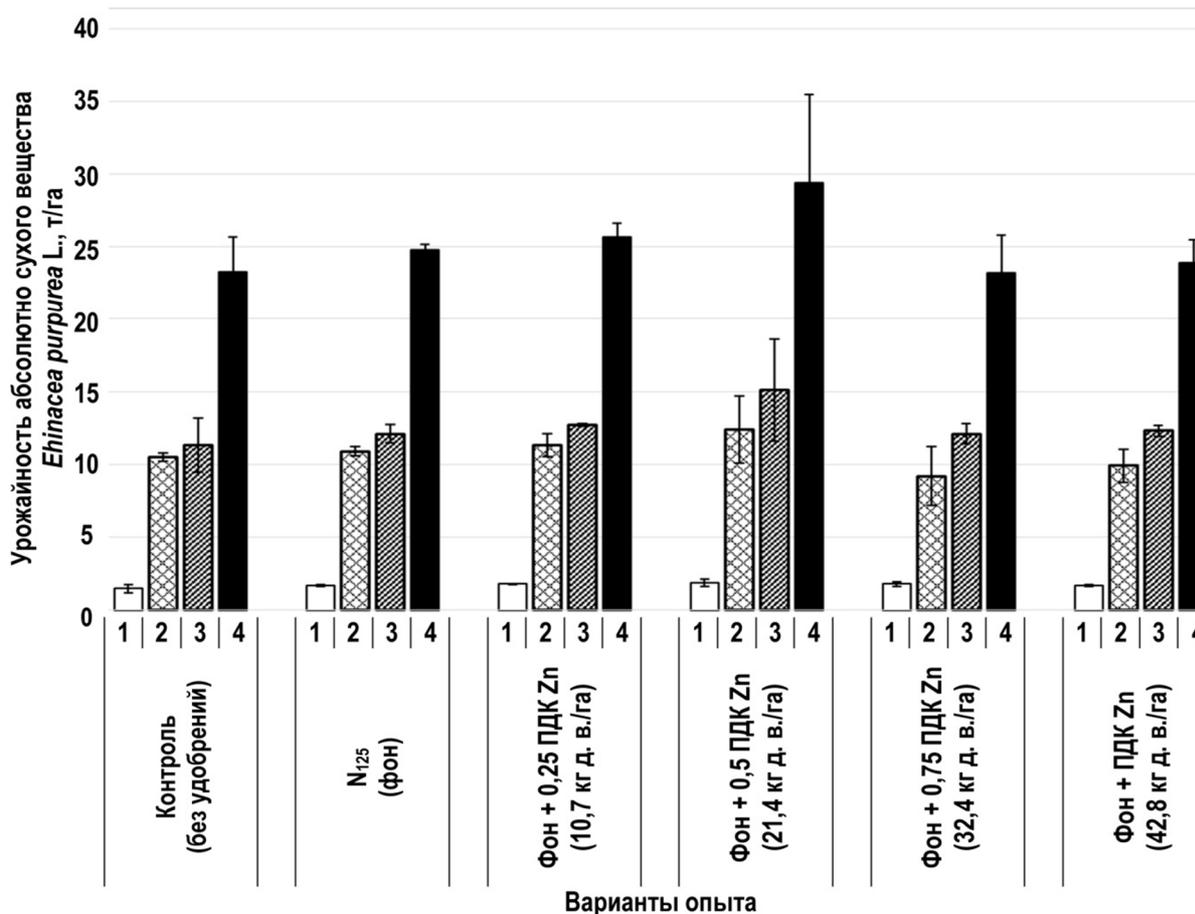
Рис. 1. Продуктивность *Achillea millefolium* L., 2012–2014 гг. (вертикальные отрезки указывают стандартную ошибку средней): 1 – 2012 г.; 2 – 2013 г.; 3 – 2014 г.; 4 – в сумме за 2012–2014 гг.

## АГРОНОМИЯ

**Таблица 2. Урожайность абсолютно сухого вещества эхинацеи пурпурной (2016–2018 гг.)**

Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности к фону, т/га	Окупаемость 1 кг д. в. Zn урожаем, т/га
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В сумме за 2016–2018 гг.		
Без удобрений (контроль)	1,5 ± 0,28	10,5 ± 0,27	11,3 ± 1,85	23,3 ± 2,40	-	-
Фон (N <sub>125</sub> )	1,7 ± 0,07	10,9 ± 0,33*	12,1 ± 0,65*	24,7 ± 1,05*	-	-
Фон + 0,25 ПДК Zn (10,7 кг д. в./га)	1,8 ± 0,04	11,3 ± 0,78*	12,7 ± 0,10*	25,8 ± 0,92*	0,9	0,08
Фон + 0,5 ПДК Zn (21,4 кг д. в./га)	1,9 ± 0,24	12,4 ± 2,32*	15,1 ± 3,50*	29,4 ± 6,06*	4,6	0,21
Фон + 0,75 ПДК Zn (32,4 кг д. в./га)	1,8 ± 0,15	9,2 ± 2,04*	12,1 ± 0,70*	23,1 ± 2,89*	-	-
Фон + ПДК Zn (42,8 кг д. в./га)	1,7 ± 0,07	9,9 ± 1,13*	12,3 ± 0,38*	23,9 ± 1,58*	-	-
НСР <sub>05</sub>	0,13	0,7	0,7			

Примечание: \* – различия между вариантами опыта (контролем и фоном) достоверны при  $p < 0,05$ .



**Рис. 2. Продуктивность *Echinacea purpurea* L., 2016–2018 гг.**  
(вертикальные отрезки указывают стандартную ошибку средней):  
1 – 2016 г.; 2 – 2017 г.; 3 – 2018 г.; 4 – в сумме за 2016–2018 гг.

Урожайность возделываемых лекарственных культур возросла в 6–10 раз в первый год последствия цинковых удобрений (тысячелистник обыкновенный – 2013 г.,

эхинацея пурпурная – 2017 г.). Это говорит о том, что корневая система растений хорошо сформировалась и питательные вещества в полной мере поступали в растения. В 2013 г. наблюдалось закономерное повышение общей урожайности тысячелистника обыкновенного при повышении дозы удобрения до 60 кг д. в./га – 8,3 т/га. С увеличением дозы до 80 кг д. в./га урожайность снижалась. Немного иная ситуация наблюдалась в 2017 г. в опыте с эхинацеей пурпурной: прирост урожайности отмечен при повышении дозы удобрения до 21,4 кг д. в./га – 12,4 т/га. Относительно фона прибавка биомассы возросла на 1,4 т/га.

Максимальная урожайность по годам исследования отмечается на третий год роста и развития культур тысячелистника обыкновенного (2014 г.) и эхинацеи пурпурной (2018 г.). В эти годы исследований подтверждено высокое влияние цинковых удобрений на формирование урожайности. В опыте с тысячелистником лучшими вариантами являлись фон + 0,75 ПДК Zn (22,5 т/га) и фон + ПДК Zn (22,6 т/га), которые обеспечили практически равноценную прибавку к фону 2,0–2,1 т/га. Наибольшая прибавка при выращивании эхинацеи пурпурной отмечалась на варианте фон + 0,5 ПДК Zn (15,1 т/га) – 3,0 т/га.

В сумме за годы исследований (2012–2014 гг. и 2016–2018 гг.) максимальная прибавка урожая тысячелистника обыкновенного получена на варианте 0,75 ПДК Zn, эхинацеи пурпурной – 0,5 ПДК Zn.

Основное внесение цинковых удобрений на фоне и по сравнению с контролем в годы последствия было достоверным (при  $p < 0,05$ ).

Анализ окупаемости цинковых удобрений урожаем лекарственных культур показывает, что самый высокий показатель в опыте с тысячелистником обыкновенным (0,062 т/га) отмечается на варианте  $N_{135}P_{45}K_{45} + 0,75$  ПДК Zn (60 кг д. в./га). В опыте с эхинацеей пурпурной наибольшую окупаемость (0,21 т/га) обеспечивало внесение цинка (на фоне  $N_{125}$ ) в дозе 21,4 кг д. в./га.

Таким образом, дозы цинка свыше 60 и 21,4 кг д. в./га способствовали снижению биомассы растений, сокращению срока вегетации, замедлению скорости фотосинтеза, что, в свою очередь, приводило к снижению продуктивности лекарственных культур.

Полученные в полевых опытах данные позволили рассчитать корреляционные зависимости, указывающие на наличие связей между урожайностью и расчётными дозами удобрений.

Коэффициент корреляции по годам исследований в опыте с тысячелистником изменялся в пределах 0,71–0,95 (связь линейная, сильная). В сумме за три года действия и последствия цинка урожайность лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного повышалась на 0,06 т/га при внесении 1 кг цинковых удобрений (уравнения 1–4).

	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	
2012 г.	$y = -0,0002x^2 + 0,012x + 0,86,$	$r = 0,71.$	(1)
2013 г.	$y = 0,018x + 6,62,$	$r = 0,87.$	(2)
2014 г.	$y = 0,03x + 20,52,$	$r = 0,97.$	(3)
2012–2014 гг.	$y = 0,06x + 28,13,$	$r = 0,95.$	(4)

Уравнения регрессии (5–8) указывают на полиномиальную зависимость между урожайностью эхинацеи пурпурной и дозами цинка. Коэффициент  $\eta$  изменялся от 0,65 до 0,93.

	Уравнение регрессии	Коэффициент $\eta$	
2016 г.	$y = -0,0004x^2 + 0,01x + 1,66,$	$\eta = 0,93.$	(5)
2017 г.	$y = -0,002x^2 + 0,06x + 11,05,$	$\eta = 0,67.$	(6)
2018 г.	$y = -0,004x^2 + 0,15x + 12,03,$	$\eta = 0,65.$	(7)
2016–2018 гг.	$y = -0,007x^2 + 0,22x + 24,73,$	$\eta = 0,65.$	(8)

Для расчёта доз цинковых удобрений под планируемую урожайность лекарственных культур и проверки коэффициентов интенсивности действия используется следующая формула:

$$Д Zn = (Y_n - Y_f) / b, \quad (9)$$

где  $Y_n$  – планируемая урожайность, т/га;

$Y_f$  – фактическая урожайность, т/га;

$b$  – коэффициент интенсивности действия цинковых удобрений.

В соответствии с формулой (9) можно рассчитать дозы удобрений для исследуемых лекарственных растений.

Для тысячелистника обыкновенного:  $Д Zn = (31,6 - 27,9) / 0,06 = 61,6$  кг д. в./га.

Для эхинацеи пурпурной:  $Д Zn = (29,4 - 24,8) / 0,22 = 20,9$  кг д. в./га.

Таким образом, использованные оптимальные дозы ацетата цинка 60 кг д. в./га и 21,4 кг д. в./га близки к дозам, полученным при расчётах.

### Выводы

1. Микроэлементы в системе удобрения лекарственных растений значительно повышают урожайность тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной по сравнению с контролем и фоном. При внесении цинковых удобрений урожайность тысячелистника обыкновенного повышалась на 8,2 т/га, или 35,0%, эхинацеи пурпурной – на 6,1 т/га, или 26,2%.

2. Полученные функциональные связи между дозами ацетата цинка и урожайностью лекарственных культур указывают на эффективность применения расчётных доз цинковых удобрений.

3. Дозы цинковых удобрений свыше 60 и 21,4 кг д. в./га оказывали ингибирующее действие на биомассу растений.

### Библиографический список

1. Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в растениях на почвах лесостепных и степных ландшафтов Омского Прииртышья / Ю.А. Азаренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (24). – С. 65–74.

2. Азаренко Ю.А. Цинк в почвах агроценозов Омского Прииртышья и эффективность применения цинковых удобрений / Ю.А. Азаренко, Ю.И. Ермохин, Ю.В. Аксенова // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 13–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10203.

3. Аристархов А.Н. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, Н.Н. Бушуев, К.Г. Сафонова // Агрехимия. – 2012. – № 9. – С. 26–40.

4. Гладышева О.В. Онтогенез и феноритмотипы пряноароматических интродуцентов в ЦЧР / О.В. Гладышева, Е.М. Олейникова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 198 с.

5. Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality, and Chemical Compounds in Coffee Beans / J.M. Clemente, H.E.P. Martinez, A.W. Pedrosa, Y.P. Neves, P.R. Cecon, J.L. Jifon // Journal of Food Quality. – 2018. – Vol. 3. – ID 7960231. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/7960231>.

6. Cakmak I. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3 acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) / I. Cakmak, H. Marschner, F. Bangerth // Journal of Experimental Botany. – 1989. – Vol. 40, No. 212 (March 1989). – Pp. 405–412. DOI: <https://www.jstor.org/stable/23692292>.

7. Epstein E. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives (2<sup>nd</sup> edition) / E. Epstein, A.J. Bloom. – GB : Oxford University Press (imprint), 2004. – 380 p.
8. FEECO International, Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://feeco.com/global-zinc-deficiency-and-the-growing-zinc-fertilizer-market/> (дата обращения: 05.09.2019).
9. Fertilizer management and soil type influence grain zinc and iron concentration under contrasting smallholder cropping systems in Zimbabwe / M.G. Manzeke, F. Mtambanengwe, P. Mapfumo, M.J. Watts, E.M. Hamilton, R.M. Lark, M.R. Broadley // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – Article number: 6445. DOI: 10.1038/s41598-019-42828-0.
10. Haensch R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) / R. Haensch, R.R. Mendel // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2009. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 259–266. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.006.
11. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soil and Plants (4<sup>th</sup> edition) / A. Kabata-Pendias. – London-New York : Boca Raton, FL (Imprint CRC Press / Taylor & Francis Group), 2011. – 548 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>.
12. Lüttge U. Botanik – Die umfassende Biologie der Pflanzen / U. Lüttge, M. Kluge, G. Thiel. – Germany : Wiley-VCH, Weinheim, 2010. – 1216 s.
13. Marschner H. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3<sup>rd</sup> edition) / H. Marschner. – USA, New York : Academic Press, 2011. – 672 p.
14. Mengel K. Principles of Plant Nutrition / K. Mengel, E.A. Kirkby // *Annals of Botany*. – 2004. – Vol. 93 (4). – Pp. 479–480. DOI: 10.1093/aob/mch063.
15. Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production / B.J. Alloway (editor). – Heidelberg, Germany : Springer. – 2008. – 353 p.
16. Nene Y.L. Symptoms, cause and control of Khaira disease of Paddy / Y.L. Nene // *Bulletin of Indian Phytopathological Society*. – 1966. – No. 3. – Pp. 97–101.
17. Shivay Y.S. Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system / Y.S. Shivay, D. Kumar, R. Prasad // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2008. – Vol. 81 (3). – Pp. 229–243. DOI: 10.1007/s10705-007-9159-6.
18. The Effect of Zinc Fertilization on Rice Productivity and Economics in Acid Alfisol of Jharkhand, India. / S. Firdous, B.K. Agarwal, D.K. Shahi, Sh. Bhushan // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Special Issue 7. – Pp. 2676–2682.
19. Yoshida S. Occurrence, diagnosis, and correction of zinc deficiency of lowland rice / S. Yoshida, J.S. Ahn, D.A. Forno // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1973. – Vol. 19, No. 2. – Pp. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1973.10432522>.
20. Yoshida S. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils / S. Yoshida, A. Tanaka // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1969. – № 15. – Pp. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1969.10432783>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Наталья Николаевна Жаркова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Омск, e-mail: [nn.zharkova@omgau.org](mailto:nn.zharkova@omgau.org).

Валентина Владимировна Сухоцкая – аспирант кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Омск, e-mail: [suhotskay-1990@mail.ru](mailto:suhotskay-1990@mail.ru).

Юрий Иванович Ермохин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Омск, e-mail: [yui.ermokhin@omgau.org](mailto:yui.ermokhin@omgau.org).

Дата поступления в редакцию 16.12.2019

Дата принятия к печати 28.01.2020

## AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Natalya N. Zharkova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Ecology, Nature Management and Biology, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Omsk, e-mail: [nn.zharkova@omgau.org](mailto:nn.zharkova@omgau.org).

Valentina V. Sukhotskaya, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry and Soil Science, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Omsk, e-mail: [suhotskay-1990@mail.ru](mailto:suhotskay-1990@mail.ru).

Yuri I. Ermokhin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry and Soil Science, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Omsk, e-mail: [yui.ermokhin@omgau.org](mailto:yui.ermokhin@omgau.org).

Received December 16, 2019

Accepted after revision January 28, 2020