

**ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

**Реферат.** *Выращивание озимого ячменя становится все более актуальным в связи с увеличением его потребности в РФ и роста цен на экспорт, поэтому цель исследования – оценка оптимальных агротехнологий получения высоких урожаев экологически чистого зерна. Цель исследований – разработка оптимальной агротехнологии возделывания нового сорта озимого ячменя Гордей на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья, позволяющей получать высокие урожаи экологически чистого зерна высокого качества. Исследования проводили в 2013–2015 гг. на опытной станции Кубанского ГАУ в условиях мониторинга полевых опытов, изучающих влияние уровня плодородия, дозы минеральных удобрений и систему защиты растений на качество зерна ячменя и накопление тяжелых металлов в почве и растениях. Содержание тяжелых металлов определяли в вытяжках атомно-абсорбционным методом, качество зерна – инфракрасной спектрометрией. Применение химических средства защиты растений, на фоне средних ( $N_{40}P_{60}$ ) и высоких ( $N_{80}P_{120}$ ) доз удобрений и регулирования уровня плодородия навозом в дозах 400 т/га за 11-польную ротацию, позволили получить зерно озимого ячменя, пригодное для детского и диетического питания. Содержание в зерне озимого ячменя кадмия составило менее 0,06 мг/кг, протеина (на уровне I класса зерна) – 13–14 %, урожайность – 6–7 т/га. Натура зерна возросла с 560 до 600 г/л в варианте с максимальными дозами удобрений, однако не достигла уровня 630 г/л, соответствующего продовольственному зерну. Результат множественной регрессии показал, что лимитирующим фактором (от 40 до 55 %), влияющим на урожайность, качество зерна и накопление микроэлементов в почве и растениях, является уровень вносимых минеральных удобрений. Содержание кислоторастворимых тяжелых металлов в почве не превышает ПДК за исключением цинка (1,2 ПДК) и составляет в среднем: Mn – 400, Cu – 28, Zn – 63, Pb – 13, Cd – 0,15, Co – 9,5 мг/кг.*

**Ключевые слова:** мониторинг, озимый ячмень, агротехнологии, протеин, натура, тяжелые металлы, урожай.

**Введение**

Площади возделываемого в РФ ячменя озимого составляют 83 млн га, урожайность зерна по регионам варьирует от 20 до 80 ц/га. В Краснодарском крае средняя урожайность составляет 45–60 ц/га, что связано с засушливым климатом [5–7]. Для увеличения урожайности зерна ячменя исследователи в северо-западной Италии предлагают продление сроков сохранения «зеленого полога» за счет обработок азотными и серосодержащими удобрениями с применением фунгицидов [9]. Наиболее эффективным при возделывании озимого ячменя по предшественнику пшеница на черноземе южном малогумусном оказалось применение удобрений в дозе  $N_{40}P_{60}$  осенью и  $N_{20}$  сеялкой после возобновления вегетации – в этом случае урожайность достигала 3,13 т/га [2].

Превышение доз минеральных удобрений не всегда сказывается положительно на урожайности зерновых культур: например, при дозах фосфора до 50 кг/га наблюдался прирост урожая на 2–3 т/га, увеличение дозы до 100 кг/га способствовало снижению клейковины и протеина в зерне и уменьшению биодоступности эссенциально важных элементов, таких как цинк [12–13]. Анализ 248

сортов ячменя, проводимый Европейскими исследователями показал, что накопление микроэлементов в зерне ячменя определяется генотипом и существенно влияет на качество урожая и биологическую устойчивость к болезням [10–11].

Растения ячменя при выращивании на серых лесных почвах накапливают в зеленой массе в фазе колошения микроэлементы: марганец – 125, цинк – 80, медь – 28, кобальт – 1,1 мг/кг, и следовые количества кадмия [8]. Коэффициенты биологического поглощения зерном ячменя в центральной черноземной зоне (отношение содержания тяжелых металлов в золе растений к валовому содержанию в почве) для цинка – 23, меди – 8, кобальта – 1,7, свинца – 0,9, кадмия – 4 [3]. На поступление тяжелых металлов в зерно ячменя, урожайность и качество продукции оказывают существенное влияние как погодные факторы, так и применяемые удобрения [1, 4]. Нарушения в поглощении микроэлементного питания из почвы, повышенный вынос кадмия с зерном, и низкая урожайность делает выращивание озимого ячменя непривлекательным, что негативно сказывается на импорте и экспорте. Работ, посвященных технологиям выращивания озимого ячменя и регулированию микроэлементного питания растений, недостаточно.

**Цель исследований** – разработка оптимальной агротехнологии возделывания нового сорта озимого ячменя Гордей на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья, позволяющей получать высокие урожаи экологически чистого зерна высокого качества.

#### **Материалы и методы исследований**

Полевые исследования проводили на опытной станции учебного хозяйства «Кубань» в рамках многолетнего стационарного опыта, заложенного в 1991 г. В период с 2013 по 2015 гг. проведен анализ влияния применения различных доз минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в почве, качество зерна озимого ячменя и накопление в нем микроэлементов и токсичных металлов.

Почвы представлены черноземом выщелоченным сверхмощным легкоглинистым со средней мощностью гумусового горизонта 147 см. Содержание гумуса в пахотном слое невысокое – 2,5–2,9 %, но из-за большей мощности гумусового горизонта валовые запасы его составляют 407 т/га. Содержание в пахотном слое подвижных форм азота – 8 %, фосфора – 6,5–7,8 %, обменного калия – 50 т/га, реакция водной среды – 6,5–8.

Центральная зона Краснодарского края характеризуется умеренно-континентальным, умеренно-влажным и теплым климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,0–10,8 °С. Сумма осадков в среднем за год – 643 мм.

Сорт озимого ячменя Гордей (*Hordeum vulgare* L.) передан на государственное испытание в 2007 г. (авторы Н. В. Серкин, Т. Е. Кузнецова, В. М. Щевцов, Ю. А. Грунцев, О. М. Кремзина, С. А. Левштанов, Т. В. Останина, В. М. Чумак, Г. В. Пищулин).

Изучено влияние внесения полуперепревшего навоза крупного рогатого скота в начале ротации (А), минеральных удобрений (В) и системы защиты растений (С) на качество и урожайность зерна озимого ячменя (таблица 1). При обозначении варианта использовали последовательность факторов АВС (0 – контроль). Обработка почвы рекомендована для данного региона и включает вспашку на глубину 20–22 см и лущения на 10–12 см.

Зерно озимого ячменя озоляли в муфельной печи при 450 °С с последующим растворением золы в 5 % растворе азотной кислоты; содержание кислоторастворимых форм определяли в азотнокислой вытяжке (1:1), подвижных – в ацетатно-аммонийном буферном растворе (рН = 4,8) атомно-абсорбционным методом на спектрометре МГА 915 [1, 4]. Качество зерна определяли методом инфракрасного анализа на приборе Инфралюм-ФТ [5, 6]. Обработка результатов анализа проводилась с использованием программы Statistica 6.1.

Таблица 1 – Схема опыта

Вариант опыта	Фактор		
	навоз, т/га (фактор А)	минеральные удобрения, кг/га (фактор В)	система защиты растений (фактор С)*
000 (контроль)	–	–	–
002	–	–	химическая
020	–	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> + N <sub>60</sub>	–
200	400	–	–
022	–	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> + N <sub>60</sub>	химическая
202	400	–	химическая
220	400	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> + N <sub>60</sub>	–
111	200	N <sub>20</sub> P <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	биологическая
222	400	–	химическая
333	600	N <sub>80</sub> P <sub>120</sub> + N <sub>120</sub>	интенсивная

**Примечание.** \* Системы защиты: биологическая – обработка препаратами на основе штамма гриба-антагониста *Xk-1-4 Chaetomium olivaceum* из расчёта 2 л/га; химическая – прополка гербицидом «Секатор Турбо» в дозе 0,075 кг/га, с расходом рабочего раствора 300 л/га; интенсивная – химическая + фунгицид «Альто Супер», КЭ – пропиконазол + ципроконазол, 250 + 80 г/л, из расчёта 0,5 л/га, расход рабочей жидкости составил 250 л/га).

### Результаты и их обсуждение

Применяемые агротехнологии не способствуют накоплению кислоторастворимых форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние агротехнологий на содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почве, мг/кг (2013–2015 гг.)

Вариант опыта	Металл					
	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
000	418	29,5	68,8	13,1	0,17	9,5
002	440	28,5	66,1	13,2	0,15	10,1
020	384	27,6	59,2	12,2	0,14	9,4
200	416	29,7	68,5	12,9	0,16	9,9
022	436	28,5	62,6	13,4	0,16	10,8
202	426	29,6	62,0	13,2	0,16	10,9
220	402	28,9	61,3	12,9	0,16	9,8
111	408	29,6	58,2	12,8	0,16	10,4
222	386	27,7	60,2	11,8	0,15	8,9
333	380	29,4	68,2	13,1	0,15	9,4
НСР <sub>05</sub>	17	2,1	3,7	0,5	0,03	0,2
ПДК	1000	50	50	20	2,0	30

Содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Pb, Cd, Co в почве не превышает ПДК. Во всех вариантах опыта, включая контроль, наблюдается накопление цинка в пахотном слое выше предельно допустимой концентрации на 20–30 %, что связано с его высоким фоновым содержанием в черноземе Западного Предкавказья. На трансформацию в кислоторастворимые формы марганца, меди, цинка, свинца и кобальта в почве существенное влияние (до 50 %) оказывает применение азотного и фосфорного питания (фактор В), а система защиты растений (фактор С) воздействует в меньшей степени. Внесение навоза (фактор А) не влияет на содержание металлов в почве. Результаты множественной регрессии показали следующее влияние факторов агротехнологий на содержание микроэлементов (формулы 1–4):

$$C(Mn_{КФ}) = 253 - A \times 0,06 + B \times 7,5 - C \times 5,8 \quad (1)$$

$$C(Cu_{КФ}) = -16,5 + B \times 0,35 - C \times 0,09 \quad (2)$$

$$C(Zn_{КФ}) = -220 + B \times 2 + C \times 0,75 \quad (3)$$

$$C(Co_{КФ}) = 18,69 - B \times 0,11 - C \times 0,19; \quad (4)$$

где А – навоз;  
 В – минеральные удобрения;  
 С – система защиты растений.

На содержание токсичных свинца и кадмия в почве влияние антропогенного воздействия приближается к нулю (формулы 5, 6):

$$C(\text{Pb}_{\text{КФ}}) = -2,39 + B \times 0,18 - C \times 0,03 \quad (5)$$

$$C(\text{Cd}_{\text{КФ}}) = 0,01 \times B^{0,56} \quad (6)$$

Зависимость накопления в почве тяжелых металлов от средств защиты растений объясняется увеличением выноса металлов со здоровыми сильными растениями с высоким урожаем. Кадмий и свинец не являются эссенциально важными для растений ячменя, поэтому их вынос связан с изменениями степени подвижности за счет погодных факторов.

Согласно данным множественной регрессии подвижные формы тяжелых металлов в почве практически не имеют линейной зависимости от применения удобрений и средств защиты растений (таблица 3).

**Таблица 3 – Влияние агротехнологий на содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве, мг/кг (2013–2015 гг.)**

Вариант опыта	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
000	92,6	0,14	1,13	1,78	0,043	0,34
002	99,2	0,14	0,84	1,70	0,043	0,41
020	94,9	0,13	0,97	2,24	0,044	0,41
200	97,2	0,12	0,97	2,09	0,043	0,41
022	98,6	0,13	0,85	2,09	0,045	0,35
202	93,8	0,13	0,88	1,79	0,043	0,42
220	99,1	0,13	0,90	2,32	0,042	0,41
111	94,3	0,14	0,90	2,05	0,044	0,33
222	98,4	0,11	1,15	1,65	0,041	0,40
333	95,1	0,13	1,05	2,14	0,045	0,38
НСР <sub>05</sub>	3,2	0,05	0,17	0,2	0,009	0,05
ПДК	140	3	23	6	0,1	5

Накопление в почве подвижных форм тяжелых металлов гораздо ниже ПДК. Таким образом, из-за высокой буферной способности чернозема выщелоченного по отношению к тяжелым металлам, доступность растениям эссенциально важных элементов снижется.

По условной степени подвижности в почве металлы располагаются в ряду (формула 7):

$$\text{Cd (30 \%)} > \text{Mn (15 \%)} > \text{Cu} \approx \text{Zn} \approx \text{Co} \approx \text{Pb (менее 1 \%)} \quad (7)$$

Высокая степень подвижности марганца позволяет предположить, что растения ячменя будут обеспечены этим микроэлементом, который, по мнению европейских исследователей, способствует улучшению качества урожая [10]. В то же время очень высокая по сравнению с другими металлами степень подвижности кадмия, вызывает опасения, что этот элемент накопится в выращенной продукции. Анализ зерна озимого ячменя показал, что содержание меди, свинца и цинка не превышает ПДК, марганца и кобальта не нормируется, поскольку эти элементы не относятся к I и II классу опасности (таблица 4). Накопление кадмия выше ПДК для детского и диетического питания наблюдается в вариантах: 000 – без удобрений, 002 – только средства химической защиты, 111 – биологическая защита растений и минимальные дозы удобрений N<sub>20</sub>P<sub>30</sub> + N<sub>30</sub>. Таким образом, применение интегрированной защиты растений и высоких доз удобрений N<sub>80</sub>P<sub>120</sub> + N<sub>120</sub> позволяет

снизить загрязнение ячменя кадмием, в основном за счет повышения урожайности и нормализации питания здоровых растений.

Следует также отметить антагонизм Cd и Zn: коэффициент корреляции содержания подвижных форм цинка в почве и кадмия в зерне равен  $-0,64$ , т. е. чем меньше доступность цинка из почвы для растений, тем больше они накапливают легкодоступный кадмий.

**Таблица 4 – Влияние агротехнологий на содержание тяжелых металлов в зерне озимого ячменя, мг/кг (2013–2015 гг.)**

Вариант опыта	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Натура, г/л	Протеин, %	Урожайность, т/га
000	8,5	3,11	24,8	0,076	0,066	0,028	564	12,3	5,67
002	7,9	3,42	23,8	0,056	0,065	0,025	576	12,8	5,95
020	9,9	2,53	28,0	0,050	0,053	0,044	586	13,9	6,44
200	10,6	2,52	23,2	0,078	0,046	0,032	578	12,9	6,03
022	12,0	2,60	22,3	0,053	0,046	0,029	592	14,9	6,75
202	7,8	3,04	23,3	0,077	0,046	0,032	580	13,4	6,48
220	12,1	2,81	26,7	0,094	0,051	0,028	597	14,0	6,74
111	8,2	2,60	21,4	0,063	0,060	0,027	584	14,2	6,18
222	9,5	2,56	21,8	0,050	0,041	0,036	597	14,8	6,78
333	10,9	2,53	24,0	0,046	0,054	0,023	604	14,9	7,11
НСР	0,2	0,17	0,23	0,017	0,011	0,009	11	0,9	1,15
ПДК/ГОСТ	–	10	50	0,5/ 0,3*	0,1/ 0,06*	–	630** 570***	13**	–

**Примечание.** \* ПДК для питания детей [1]; \*\* II класс (продовольственное зерно) [14]; \*\*\* II класс (фуражное зерно, производство спирта) [15].

Множественный регрессионный анализ влияния доз вносимых удобрений и средств защиты растений на содержание тяжелых металлов в зерне показал, что на содержание марганца, меди и цинка лимитирующее влияние оказывают дозы вносимых удобрений (фактор В) и средства защиты растений (фактор С), применение навоза не оказывает влияния (фактор А) (формулы 8–10):

$$C(\text{Mn}_{\text{зерно}}) = 39 - A \times 0,03 + B \times 0,67 - C \times 0,38 \quad (8)$$

$$C(\text{Cu}_{\text{зерно}}) = -5,7 + A \times 0,01 + B \times 0,14 - C \times 0,05 \quad (9)$$

$$C(\text{Zn}_{\text{зерно}}) = 914 + A \times 0,05 + B \times 4,8 + C \times 3,6 \quad (10)$$

По результатам нелинейного анализа методом наименьших квадратов на содержание кобальта и кадмия в зерне оказывает существенное влияние только доза минерального удобрения. Для свинца зависимость выявить не удалось, что согласуется с данными об атмосферных источниках Pb в растениях (формулы 11–13):

$$C(\text{Pb}_{\text{зерно}}) = 0,001 \times B^{-0,9} \quad (11)$$

$$C(\text{Cd}_{\text{зерно}}) = 3,0 \times B^{-0,88} \quad (12)$$

$$C(\text{Co}_{\text{зерно}}) = 31,6 \times B^{-1,5} \quad (13)$$

Полученное зерно по натуре соответствует фуражному и применяемому на солод и производство спирта зерну (ГОСТ 28672-90, ГОСТ Р 53900-2010). Согласно множественному регрессионному анализу натура зерна, содержание протеина и урожайность зависят от накопления тяжелых металлов в зерне (формулы 14–16):

$$\text{Натура (г/л)} = 660 + C(\text{Mn}) \times 0,6 - C(\text{Cu}) \times 29 - C(\text{Zn}) \times 0,01 - C(\text{Pb}) \times 125 + C(\text{Cd}) \times 576 - C(\text{Co}) \times 524 \quad (14)$$

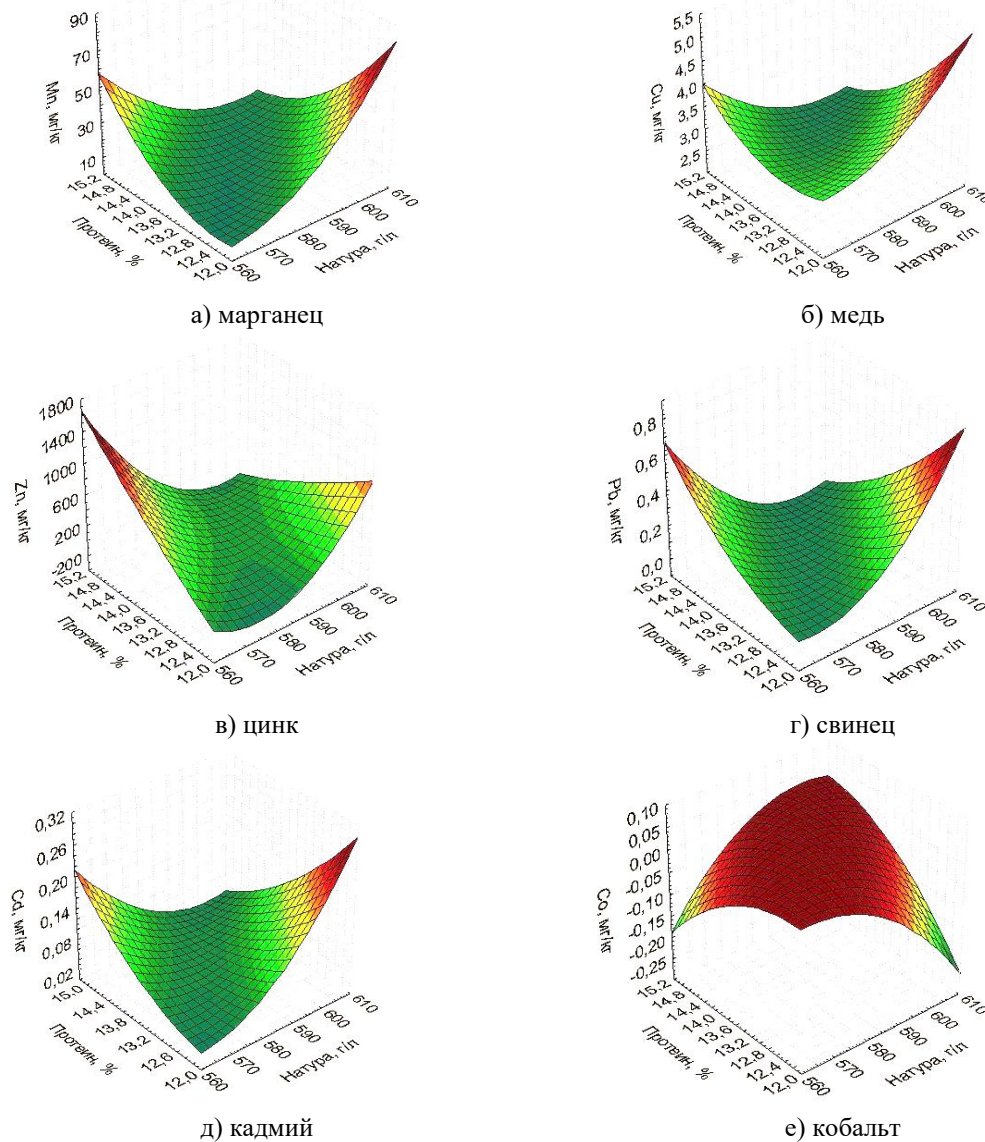
$$\text{Протеин (\%)} = 15,69 + C(\text{Mn}) \times 0,24 - C(\text{Cu}) \times 0,91 + C(\text{Zn}) \times 0,01 - C(\text{Pb}) \times 27,05 + C(\text{Cd}) \times 5,76 - C(\text{Co}) \times 13,01 \quad (15)$$

$$\text{Урожайность (т/га)} = 9,48 + C(\text{Mn}) \times 0,01 - C(\text{Cu}) \times 1,04 + C(\text{Zn}) \times 0,01 - C(\text{Pb}) \times 4,8 + C(\text{Cd}) \times 15,7 - C(\text{Co}) \times 19,2; \quad (16)$$



где  $C(\text{Mn})$  – содержание марганца в зерне озимого ячменя, мг/кг;  
 $C(\text{Cu})$  – содержание меди в зерне озимого ячменя, мг/кг;  
 $C(\text{Zn})$  – содержание цинка в зерне озимого ячменя, мг/кг;  
 $C(\text{Pb})$  – содержание свинца в зерне озимого ячменя, мг/кг;  
 $C(\text{Cd})$  – содержание кадмия в зерне озимого ячменя, мг/кг;  
 $C(\text{Co})$  – содержание кобальта в зерне озимого ячменя, мг/кг.

Зависимость содержания тяжелых металлов от качества зерна ячменя, обработанная квадратичным методом, представлена на рисунке 1 (а–е).



**Рисунок 1 – Взаимосвязь содержания природы (x) и протеина (y) с тяжелыми металлами в зерне озимого ячменя**

**Примечание.**

- а)  $C(\text{Mn в зерне}) = 3,8 \times 10^3 - 19,3 \times x + 268,2 \times y + 0,03 \times x^2 - 0,2 \times x \times y + 6,1 \times y^2$ ;  
 б)  $C(\text{Cu в зерне}) = 146,1 - 0,6 \times x + 7,2 \times y - 0,02 \times x \times y + 0,2 \times y^2$ ;  
 в)  $C(\text{Zn в зерне}) = 1,7 \times 10^5 - 799,5 \times x + 8926,6 \times y + 0,8 \times x^2 - 16,3 \times x \times y + 26,9 \times y^2$ ;  
 г)  $C(\text{Pb в зерне}) = 67,5 - 0,3 \times x + 3,8 \times y + 0,04 \times y^2$ ;  
 д)  $C(\text{Cd в зерне}) = 13,6 - 0,08 \times x + 1,2 \times y + 9,7 \times 10^{-3} \times x^2 + 0,01 \times y^2$ ;  
 е)  $C(\text{Co в зерне}) = -22,4 + 0,1 \times x - 1,1 \times y - 0,02 \times y^2$ .

Вместе с повышением урожайности, натуры и содержания протеина в зерне возрастет накопление в нем кадмия, кобальта, свинца, в меньшей степени меди. Ряд европейских ученых выделяют для ячменя в качестве эссенциальных элементов марганец [10] и цинк [13], однако по результатам наших исследований, накопление их в зерне с качеством и урожайностью не связано.

Взаимосвязь накопления металлов в зерне и его качество имеет сходную закономерность для Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, для Co показатели содержания элемента имеют отрицательную зависимость. Исследования в области влияния кобальта на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции крайне малочисленны и затрудняют оценку его роли в системе почва-растение.

Также следует отметить, что качество и урожайность зерна озимого ячменя не зависит от влияния факторов ABC, по результатам множественной регрессии влияние фактора А (навоз) близко к нулю, фактора С (система защиты растений) незначительно, основополагающим является применение минеральных удобрений (фактор В) (формулы 17–19):

$$\text{Натура (г/л)} = 1321 + A \times 0,04 - B \times 5,91 - C \times 1,40 \quad (17)$$

$$\text{Протеин (\%)} = 87 + A \times 0,01 - B \times 0,51 - C \times 0,22 \quad (18)$$

$$\text{Урожайность (т/га)} = 34 - A \times 0,01 - B \times 0,21 - C \times 0,08 \quad (19)$$

### Выводы

Содержание кислотрастворимых форм тяжелых металлов в пахотном слое чернозема выщелоченного не превышает предельно допустимых концентраций (мг/кг): для марганца (380–440), меди (27–29), свинца (0,11–0,13), кадмия (0,14–0,17) и кобальта (9,4–10,8); накопление цинка на уровне 1,2 ПДК (58–68) наблюдается во всех вариантах, включая контроль. Степень подвижности в почве Cu, Zn, Pb, Co не превышает 1 %, кадмия – достигает 30 %.

Результаты анализа множественной регрессии показали, что лимитирующими факторами, влияющими на накопление кислотрастворимых форм тяжелых металлов в почве, являются доза вносимых минеральных удобрений (50–70 %), и система защиты растений (10–18 %). На содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы применяемые удобрения и средства защиты растений не влияют, коэффициенты регрессии близки к нулю.

Натура и содержание протеина в зерне возрастает с увеличением накопления в нем кадмия, свинца и кобальта, согласно данным регрессионного анализа доля влияния Cd и Pb достигает 30 %, Co – 15 %, для марганца и цинка, несмотря на эссенциальность для ячменя, коэффициенты регрессии близки к нулю.

Наибольшая урожайность озимого ячменя сорта Гордей – 6–7 т/га с содержанием протеина на уровне 13–14 % и натурой зерна – 590–604 г/л наблюдались на фоне средних – N<sub>40</sub>P<sub>60</sub> и высоких – N<sub>80</sub>P<sub>120</sub> доз удобрений вместе с химической системой защитой растений.

### Литература

1. Гайдукова Н. Г., Сидорова И. И., Шабанова И. В., Федашук Е. Д. Взаимосвязь различных форм соединений тяжелых металлов в пахотном слое почвы и накопления их в зерне озимых культур // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 111. С. 737–757.
2. Демчук А. В., Черкашина А. В. Влияние различных способов внесения азотных удобрений на урожайность ячменя озимого по предшественнику пшеница озимая // Таврический вестник аграрной науки. 2015. № 1(3). С. 34–38.
3. Лукин С. В. Мониторинг содержания микроэлементов Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg в пахотных черноземах юго-запада центрально-черноземной зоны // Агрохимия. 2012. № 11. С. 52–59.

4. Малюга Н. Г., Букреев П. Т., Гайдукова Н. Г., Шабанова И. В. Последствие навоза на содержание микроэлементов в черноземе выщелоченном Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 36. С. 87–91.
5. Нешчадим Н. Н., Пацека О. Е. Урожайность зерна озимого ячменя с применением различных технологий выращивания // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 133. С. 1126–1143.
6. Нешчадим Н. Н., Пацека О. Е., Калашников В. А. Урожайность зерна озимого ячменя с применением различных технологий выращивания // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 137. С. 106–122.
7. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Перспективные направления в селекции ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2 (6). С. 129–137.
8. Шабаяев В. П. Почвенные механизмы уменьшения поглощения кадмия растениями ячменя при применении ризосферных бактерий, стимулирующих рост растений // Агрохимия. 2017. № 7. С. 71–77.
9. Federico M., Amedeo R., Massimo B. Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness // Field Crops Research. 2015. Vol. 170. P. 109–118. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.10.002/.
10. Leplat F., Pedas P. P., Rasmussen K. S., Husted S. Identification of manganese efficiency candidate genes in winter barley (*Hordeum vulgare*) using genome wide association mapping // BMC Genomics. 2016. 17:775. DOI: //doi.org/10.1186/s12864-016-3129-9.
11. Linkmeyer A., Hofer K., Rychli M., Herz M., Hausladen H., Hückelhoven R., Hess M. Influence of inoculum and climatic factors on the severity of *Fusarium* head blight in German spring and winter barley // Food Additives & Contaminants. 2016. P. A 33:3. P. 489–499. DOI:10.1080/19440049.2015.1133932.
12. Tucher S., Hörndl D., Schmidhalter U. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet // Ambio. 2018. 47 (Supple 1): 41. DOI:10.1007/s13280-017-0970-2.
13. Zhang W., Liu D., Liu Y., Chen X., Zou C. Overuse of phosphorus fertilizer reduces the grain and flour protein contents and zinc bioavailability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. No. 65 (8). P. 1473–1482. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04778.
14. ГОСТ 28672-90. Ячмень. Требования при заготовках и поставках. М.: Стандартинформ, 2010. С. 86.
15. ГОСТ Р 53900-2010. Ячмень кормовой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. С. 6.

## References

1. Gaydukova N. G., Sidorova I. I., Shabanova I. V., Fedexuk E. D. Interrelation of various forms of compounds heavy metals in an arable layer of earth and their accumulation in grain of winter crops // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2015. No. 111. P. 737–757.
2. Demchuk A. V., Cherkashin A. V. Influence of different methods fertilizers application on winter barley yield under the forecrop of winter wheat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2015. No. 1 (3). P. 34–38.
3. Lukin S. V. Monitoring of trace elements Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg in arable chernozems of the southwestern regions of the central chernozemic zone // Agrochemistry. 2012. No. 11. P. 52–59.
4. Malyuga N. G., Bukreyev P. T., Hajdukova N. G., Shabanova V. I. Manure post action on the microelements content in Kuban leached chernozem // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2012. No. 36. P. 87–91.
5. Neshchadim N. N., Patseka O. E. Crop yield of winter barley grain with the application of various growing technologies // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2017. No. 133. P. 1126–1143.
6. Neshchadim N. N., Patseka O. E., Kalashnikov, V. A. Crop yield of winter barley grain with the application of various growing technologies // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2018. No. 137. P. 106–122.
7. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Perspective directions in barley breeding // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 2 (6). P. 129–137.
8. Shabaev V. P. Soil mechanisms of reducing the uptake of cadmium by barley plants with application of rhizosphere bacteria stimulating plant growth // Agrochemistry. 2017. No. 7. P. 71–77.
9. Federico M., Amedeo R., Massimo B. Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness // Field Crops Research. 2015. Vol. 170. P. 109–118. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.10.002.
10. Leplat F., Pedas P. P., Rasmussen K. S., Husted S. Identification of manganese efficiency candidate genes in winter barley (*Hordeum vulgare*) using genome wide association mapping // BMC Genomics. 2016. 17:775. DOI: 10.1186/s12864-016-3129-9.
11. Linkmeyer A., Hofer K., Rychli M., Herz M., Hausladen H., Hückelhoven R., Hess M. Influence of inoculum and climatic factors on the severity of *Fusarium* head blight in German spring and winter barley // Food Additives & Contaminants. 2016. P. A33:3. P. 489–499. DOI: 10.1080/19440049.2015.1133932.
12. Tucher S., Hörndl D., Schmidhalter U. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet // Ambio. 2018. 47 (Supple 1): 41. DOI:10.1007/s13280-017-0970-2.



13. Zhang W., Liu D., Liu Y., Chen X., Zou C. Overuse of phosphorus fertilizer reduces the grain and flour protein contents and zinc bioavailability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. No. 65 (8). P. 1473–1482. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04778.
14. GOST 28672-90. Barley. Requirements for state purchases and deliveries. Moscow: Standartinform, 2010. P. 86.
15. GOST R 53900-201. Feed barley. Specifications. Moscow: Standartinform, 2011. P. 6.

UDC 631.81.033:95

Shabanova I. V., Neshchadim N. N.

### **INFLUENCE OF AGROTECHNOLOGIES ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL AND GRAIN QUALITY OF WINTER BARLEY**

**Summary.** *In the view of both extensive demand for winter barley in the Russian Federation and increase in the export price, there is a great growing need for this crop cultivation. Based on this, one of the goals of the study was to evaluate the optimal agricultural technologies for obtaining high yields of environmentally friendly grain. Based on this, one of the goals of the study was to evaluate the optimal agrotechnologies for obtaining high yields of environmentally friendly (organic) grain. The studies were carried out in 2013–2015 at the experimental station of the Kuban State Agrarian University under conditions of monitoring field experiments. We studied the influence of fertility level, doses of mineral fertilizers, plant protection system and accumulation of heavy metals in soil and plants on the quality of barley. The content of heavy metals in the extracts was determined by the atomic absorption method, grain quality – by infrared spectrometry. The use of chemical plant protection products both with the application of medium  $N_{40}P_{60}$  and high  $N_{80}P_{120}$  doses of fertilizers and regulation of fertility with manure in doses of 400 t/ha for eleven-course rotation made it possible to obtain winter barley grain suitable for baby food and dietetic nutrition. The content of cadmium in winter barley was less than 0.06 mg/kg, protein content (first-class grain) reached 13–14 %, yield – 6–7 t/ha. The hectolitre weight of the grain increased from 560 to 600 g/l in the variant with the maximum doses of fertilizers ( $N_{80}P_{120}$ ) but did not reach the level of 630 g/l, which corresponds to food grain. The result of multiple regression showed that the limiting factor (from 40 to 55 %) affecting yield, grain quality and accumulation of trace elements in soil and plants was the level of applied mineral fertilizers; the level of fertility had no effect. The content of acid-soluble heavy metals in soil did not exceed threshold limit value except for zinc (1,2 TLV) and was on average: Mn – 400, Cu – 28, Zn – 63, Pb – 13, Cd – 0.15 and Co – 9.5 mg/kg.*

**Keywords:** *monitoring, winter barley, agricultural technologies, protein, nature, heavy metals, yield.*

Шабанова Ирина Вячеславовна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: Shabanova\_I\_V@mail.ru.

Нешчадим Николай Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: neshhadim@mail.ru.

Shabanova Irina Vyacheslavovna, Cand. Sc. (Chem.), associate professor of chemistry department, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: Shabanova\_I\_V@mail.ru.

Neshchadim Nikolay Nikolaevich, Dr. Sc. (Agr.), professor of plant growing department, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: neshhadim@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 09.01.2019.

Дата принятия к печати – 20.01.2019.