



## МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В КОМПОНЕНТАХ АГРОЛАНДШАФТОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

© 2023 А. В. Пузанов <sup>1</sup>, Т. А. Рождественская <sup>1</sup>, Ю. Б. Кирста <sup>1</sup>, О. А. Ельчинова <sup>1</sup>, И. А. Трошкова <sup>1</sup>, Д. Н. Балыкин <sup>1</sup>, С. Н. Балыкин <sup>1</sup>, А. В. Салтыков <sup>1</sup>, С. В. Бабошкина <sup>1</sup>, И. В. Горбачев <sup>2</sup>, М. П. Пеленева <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, ул. Молодежная, 1, г. Барнаул, 656038, Россия.  
E-mail: [rtamara@iwep.ru](mailto:rtamara@iwep.ru)

<sup>2</sup>АО «ЦЭНКИ», ул. Ткацкая, д. 7, Москва, 105318, Россия. E-mail: [giv1980@yandex.ru](mailto:giv1980@yandex.ru)

**Цель исследования.** Эколого-биогеохимическая и санитарно-гигиеническая оценка пахотных почв Алтайского края и произведенного на них зерна яровой пшеницы.

**Место и время проведения.** Репрезентативные участки пашины расположены в различных агроэкологических зонах Алтайского края: Кулундинской – сухая степь на каштановых почвах Кулундинской низменности; Рубцовской – засушливая степь на чернозёмах южных Приобского плато; Заринской – лиственные леса и остепнённые луга на чернозёмах выщелоченных Бие-Чумышской возвышенной равнины и на чернозёмах оподзоленных и тёмно-серых лесных почвах Предгорий Салаира; Предгорной – луговая степь на чернозёмах Предалтайской равнин; Приобской – колючая степь на чернозёмах обыкновенных Приобского плато; Алейской – умеренно засушливая степь на чернозёмах обыкновенных Приобского плато; Бийской – лесостепь на чернозёмах выщелоченных и серых лесных почвах Бие-Чумышской возвышенной равнины. Исследования проведены в 2018 г.

**Методы.** Содержание микроэлементов в почвах и зерне пшеницы определено методом атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ПНД Ф 14.1:2:4. 139; 140-98; НСАМ №450С; РД 52.24.479-95.

**Основные результаты.** Установлено, что необходимые для растений, животных, человека элементы в пахотных почвах Алтайского края содержатся в оптимальных количествах (среднее содержание Mn составило 714, Zn – 65, Cu – 25,7, Co – 12,3 мг/кг), при которых живые организмы функционируют нормально. Концентрации большинства токсичных элементов находятся на уровне средних содержаний в почвах мира, данных для незагрязнённых почв Западной Сибири и не превышают ПДК (ОДК). Средняя концентрация Cd в исследованных почвах составила 0,089, Pb – 13,6, As – 5,0, Hg – 0,037 мг/кг. Биогеохимической провинции ни по одному из элементов не выделено. Почвы обладают довольно высокой буферной способностью по отношению к тяжёлым металлам. Содержание элементов в зерне яровой пшеницы – основной возделываемой в Алтайском крае культуры – соответствует мировым данным для зерна. Количество нормируемых элементов (свинца, кадмия, ртути, мышьяка) отвечает отечественным нормам и требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности зерна».

**Заключение.** Пахотные почвы Алтайского края не загрязнены тяжёлыми металлами. Микроэлементы (марганец, цинк, медь, кобальт) в изученных почвах содержатся в оптимальных для живых организмов количествах. Однако при использовании полученного на них зерна в качестве монокарма возможен дефицит кобальта у животных. Уровень содержания химических элементов обусловлен исходным содержанием элементов в почвообразующих породах. Степень буферирования тяжёлых металлов в изученных пахотных почвах в зависимости от элемента варьировала от средней до высокой.

**Ключевые слова:** пахотные почвы; зерно; химические элементы; эколого-биогеохимическая и санитарно-гигиеническая оценка

**Цитирование:** Пузанов А.В., Рождественская Т.А., Кирста Ю.Б., Ельчинова О.А., Трошкова И.А., Балыкин Д.Н., Балыкин С.Н., Салтыков А.В., Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пеленева М.П. Микроэлементы в компонентах агроландшафтов Алтайского края // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 1. e188. DOI: [10.31251/pos.v6i1.188](https://doi.org/10.31251/pos.v6i1.188).

## ВВЕДЕНИЕ

В числе основных задач в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 года №120, обозначено обеспечение безопасности пищевых продуктов, поэтому разработка научных основ производства сельскохозяйственной продукции, качество которой должно соответствовать отечественным и мировым общегигиеническим и токсикологическим нормативам и не оказывать негативного влияния на здоровье людей и животных – важнейшая задача науки. Оценка качества зерна должна включать не только общепринятые показатели (белок, клейковина и др.), но и анализ содержания химических элементов, многие из которых необходимы для животных и человека, но в высоких концентрациях токсичны. Так, количество в зерне тяжелых металлов не должно превышать ПДК и отвечать физиологическим нормам.

Наиболее распространенной зерновой сельскохозяйственной культурой во многих странах мира является пшеница, получившая широкое применение при изготовлении различных видов продуктов питания, косметических, лекарственных препаратов, кормов для сельскохозяйственных животных. Изделия из зерна пшеницы занимают важное место в питании человека, являясь доступным источником микроэлементов, белков, углеводов и витаминов. С растительной пищей в организм человека поступает основное количество тяжелых металлов. Химический состав культурных растений обусловлен их биологическими особенностями и, в определенной мере, содержанием элементов в пахотных почвах, особенно в условиях их недостатка или избытка (Школьник, 1967; Власюк, 1969; Авцын и др., 1991; Гамзикова, Барсукова, 1996; Пугаев, 2013; Кондратенко и др., 2015).

Алтайский край является одним из крупнейших сельскохозяйственных регионов Российской Федерации, а яровая пшеница – важнейшей возделываемой культурой, при этом значительная доля производимого зерна идет на экспорт. На территории края сложилась непростая эколого-геохимическая обстановка, обусловленная разнообразием почвенного покрова и ландшафтно-геохимических условий, влиянием ракетно-космической деятельности, значительной аграрной нагрузкой, наличием и разработкой многочисленных месторождений, загрязнением радиоактивными веществами в результате испытаний ядерных устройств на Семипалатинском полигоне (Казахстан) и полигоне Лобнор (Китай) (Мальгин и др., 1993; Горюнова, 1999; Бурлакова и др., 2001; Пузанов и др., 2002; Бабошкина и др., 2006; Пузанов и др., 2012). Увеличивающийся уровень антропогенной нагрузки, связанный с возрастающей урбанизацией и воздействием техногенных факторов, негативно влияет на агробиоценозы. Почвы подвергаются значительному антропогенному влиянию, что отражается на их составе и свойствах. Накопление в окружающей среде ксенобиотических элементов является одним из наиболее опасных результатов такого воздействия. Тяжёлые металлы по пищевым цепям через растения попадают в организм животных и человека, аккумулируются в органах и тканях, вызывая различные патологии, поэтому исследование растительной продукции на содержание тяжёлых металлов весьма актуально.

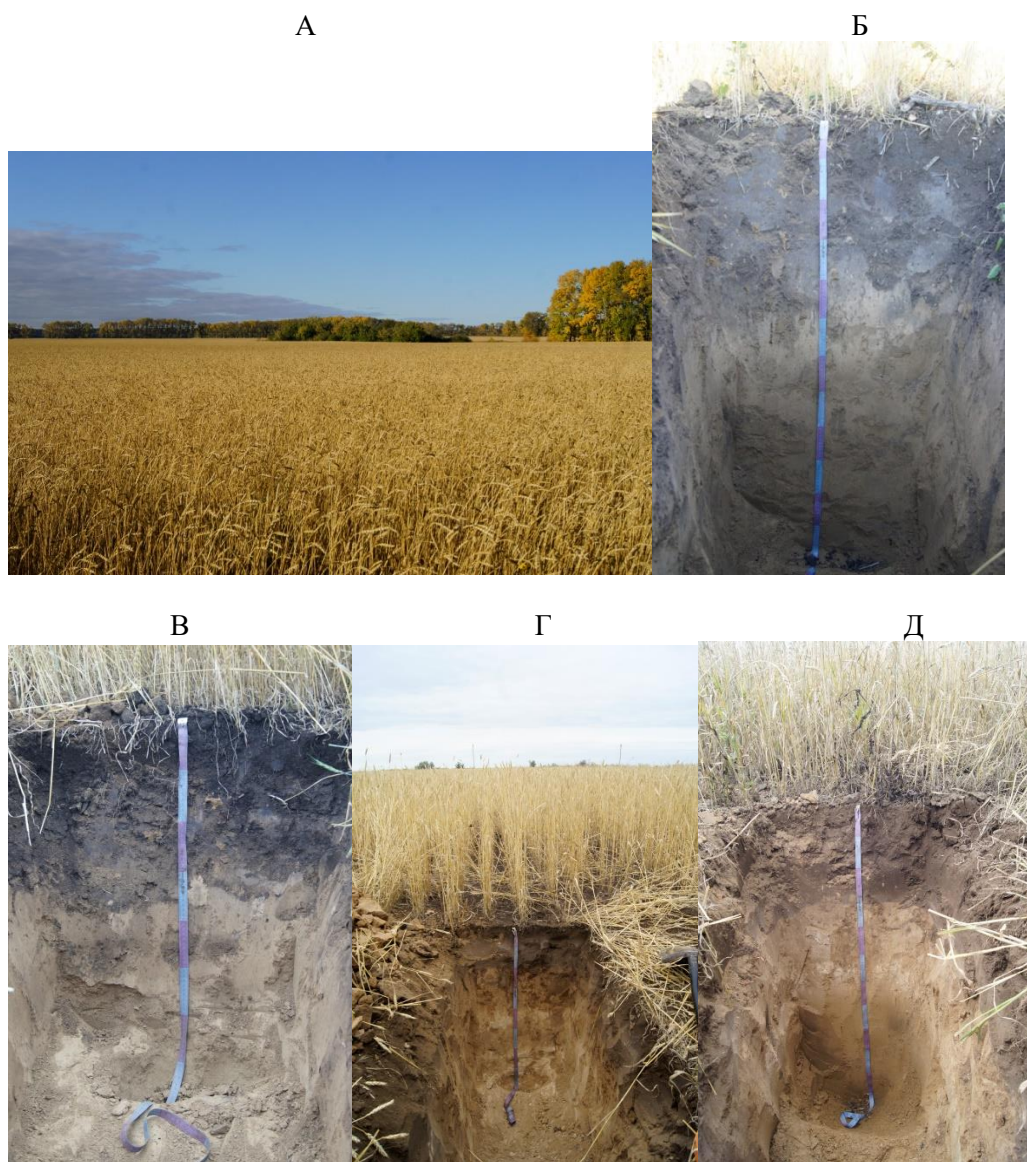
Цель работы – эколого-биогеохимическая и санитарно-гигиеническая оценка пахотных почв Алтайского края и произведенного на них зерна яровой пшеницы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почвенные разрезы были заложены на репрезентативных участках во всех агроэкологических зонах Алтайского края, в соответствии с районированием В.А. Рассыпнова (2012): Кулундинской – сухая степь на каштановых почвах (Haplic Kastanozems Chromic) Кулундинской низменности; Рубцовской – засушливая степь на чернозёмах южных (Haplic Chernozems Pachic) Приобского плато; Заринской – лиственные леса и остепнённые луга на чернозёмах выщелоченных (Voronich Chernozems Pachic) Бие-Чумышской возвышенной равнины и чернозёмах оподзоленных и тёмно-серых лесных почвах Предгорий Салаира; Предгорной – луговая степь на чернозёмах (Voronich Chernozems Pachic) Предалтайской равнины; Приобской – колючая степь на чернозёмах обыкновенных (Voronich Chernozems Pachic) Приобского плато; Алейской – умеренно засушливая степь на чернозёмах обыкновенных Приобского плато; Бийской – лесостепь на чернозёмах выщелоченных и серых лесных почвах (Voronich Chernozems Pachic) Бие-Чумышской возвышенной равнины. Сопряженно с почвенными разрезами и прикопками отбирали растительный материал – зерно пшеницы (рис. 1).

Содержание микроэлементов в почвах и зерне пшеницы определили в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН) методом атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии ПНД Ф 14.1:2:4. 139; 140-98; НСАМ №450С; РД 52.24.479-95.

Навеску материала подвергали кислотному озолению концентрированной азотной кислотой при нагревании. Полученный раствор фильтровали, количественно переносили в мерную колбу, доводили объём до метки дистиллированной водой и определяли содержание элементов.



**Рисунок 1.** А, Б – пшеничное поле на чернозёме обыкновенном, Алейская зона (разрез Р-12-Ф-18); В – чернозём выщелоченный, Бийская зона (Р-5-Ф-18); Г – чернозём южный, Рубцовская зона (Р-9-Ф-18); Д – тёмно-каштановая почва, Кулундинская зона (Р-10-Ф-18).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах и растениях определены как элементы, содержание которых нормируется, так и элементы, имеющие важное экологическое и физиологическое значение. Из всей гаммы химических элементов особое внимание привлекают Hg, As, Pb, Cu, Zn, Cd. Это связано с тем, что на значительной части территории края в почвообразующих породах и почвах районов полиметаллических месторождений, добычи и переработки руд наблюдается повышенное содержание рудных и сопутствующих им элементов.

Количество гумуса в пахотных горизонтах исследуемых почв изменяется в широких пределах – от 2,6% в Рубцовской зоне до 7,9% в Предсалаирье и Приобье. Содержание физической глины увеличивается с 17% в почвах Кулунды до 53% – в почвах предгорий Салаира. Большинство почв характеризуется мощными карбонатными системами (до 21% карбонатов в горизонте Вк).

Анализ пахотных почв Алтайского края на содержание микроэлементов (при высоких концентрациях в среде относящихся к тяжелым металлам) показал, что биогенные элементы Mn, Zn, Cu, Co в почвах содержатся в оптимальных количествах, при которых у живых организмов не может быть отклонений в процессах жизнедеятельности.

Концентрации большинства токсичных элементов в исследованных почвах находятся на уровне кларков в почвах мира, данных для незагрязненных почв Западной Сибири и согласуются с полученными ранее данными для отдельных районов Алтайского края (табл. 1, 2).

Так как на Алтае существуют геохимические провинции с повышенным валовым содержанием мышьяка в почве, наблюдается небольшое превышение уровня содержания этого элемента в почвах Алейской и Предгорной агроэкологических зон (см. табл. 1) над кларком в почвах и земной коре. Это обусловлено фосфоритностью горных пород Алтае-Саянской горной страны (Фосфоритность..., 1968), к которой пространственно тяготеют указанные зоны; известно, что мышьяк обладает геохимическим сродством к фосфору. Выявлено превышение уровня ОДК мышьяка в почвах лёгкого гранулометрического состава (разрезы Р-6-Ф-18 и Р-10-Ф-18), но это, вероятно, связано с несовершенством норматива – ОДК этого элемента меньше его кларка в почвах.

Несколько выше фона содержание хрома и ванадия в почвах тяжелого гранулометрического состава Алейской, Предгорной, Бийской и Заринской зон. Однако это не свидетельствует о каком-либо загрязнении, повышенные концентрации наследуются от почвообразующих пород.

Выявлены достоверные отличия уровня концентрации тяжёлых металлов в почвах всех агроэкологических зон от среднего содержания в пахотных почвах в целом ( $P < 0,05$ ), что обусловлено разными почвообразующими породами и генетической принадлежностью почв. Исключение составляет элементы с низкими кларками (кадмий и ртуть). Значения коэффициентов вариации содержаний большинства элементов, как в совокупности исследованных почв, так и почв каждой агроэкологической зоны менее 30%, что свидетельствует об однородности выборок и, следовательно, отсутствии значимого загрязнения, которое, как правило, приводит к увеличению размаха вариации.

Из всех исследованных элементов только концентрация кадмия в пахотных горизонтах достоверно выше, чем в нижележащих слоях ( $t_f = 3,92$  при  $t_{st} = 2,66$  и  $\alpha = 0,01$ ). Это, вероятно, связано с большой подвижностью Cd в зоне гипергенеза и использованием минеральных удобрений, содержащих этот токсикант. Кадмий – обычный компонент фосфорных удобрений, поэтому продолжительное их внесение является причиной загрязнений почв элементом (Морозова, Колесниченко, 2019; Kabata-Pendias, 2010; Овчаренко, 1995; Europe's..., 1995, Davister, 1996, Сладкова, 2016). Среднее содержание кадмия в фосфорных удобрениях – 1,0-2,0 мг/кг (Davister, 1996). Удобрения, полученные из фосфорных горных пород, дают значительный вклад в загрязнение почв кадмием – от 0,3 до 38 г/га ежегодно (Jensen, Bro-Rasmussen, 1990). При содержании элемента в суперфосфате из Кольского апатита в количестве 0,7 мг/кг и дозе внесения 100 кг  $P_2O_5$  поступление Cd составит 0,35 г/га, а с суперфосфатом из фосфорита Каратау, с содержанием кадмия 2,2 мг/кг при той же дозе – 1,1 г/га (Ринькис и др., 1989).

Кадмий содержится и в других удобрениях – так, среднее содержание кадмия в азотных удобрениях 0,2 мг/кг, калийных – 0,3 мг/кг и органических удобрениях – 0,55 мг/кг (Овчаренко, 1995). По данным Т.С. Морозовой и Е.Ю. Колесниченко (2019), при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{120}P_{120}K_{120}+N_{30}$  на фоне последействия 80 т/га навоза отмечается увеличение концентрации кадмия в 3 раза за 18 лет.

В условиях Алтайского края для улучшения фосфорного питания яровой пшеницы, как правило, вносится до 60 кг действующего вещества фосфорных удобрений на гектар (Олешко и др., 2015), что в пересчете на суперфосфат составляет около 230 кг/га. При глубине обработки почвы в регионе в последние десятилетия 10-15 см и с учётом приведённых выше концентраций кадмия в фосфорных удобрениях, внесение только этого вида туков может увеличить содержание кадмия в пахотном горизонте на 0,004 мг/кг почвы за 10 лет. При использовании полного минерального и органических удобрений эта величина, очевидно, возрастет.

Таблица 1

Содержание химических элементов в пахотных почвах агроэкологических зон, мг/кг

Разрез, почва, зона	Горизонт, глубина, см	Глубина образца, см	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Ni	Cr	V	Co
Р-5-Ф-18 Чернозем выщелоченный (Voronich Chernozems Pachic), Бийская зона	Апах (0–24)	0–10	38500	920	80	31	13	0,13	2,6	0,031	47	106	120	15
		10–20	39200	870	80	30	13	0,12	5,6	0,037	50	130	120	15
	АВ(24–33)	24–33	41900	800	79	29	13	0,063	5,2	0,035	56	100	130	16
	Вк (33–52)	35–45	42000	790	78	30	13	0,063	5,7	0,038	51	110	130	16
	ВСк (52–62)	52–62	38600	730	77	30	13	0,10	5,1	0,022	45	100	120	15
Ск (62–...)	62–72	36700	750	67	27	12	0,094	5,1	0,019	41	97	110	14	
Р-6-Ф-18 Чернозем обыкновенный (Voronich Chernozems Pachic), Приобская зона	Апах к (0–28)	0–12	22400	550	49	17	12	0,15	3,6	0,019	22	52	74	7,9
		15–25	22800	580	47	17	13	0,089	3,3	0,016	22	47	74	7,9
	Ак (28–52)	30–40	24700	630	54	20	12	0,10	3,2	0,016	25	56	80	8,6
		40–50	22800	560	48	18	12	0,095	3,1	0,019	19	37	73	8,2
	Ак (52–65)	55–65	22300	520	44	17	10	0,076	1,7	0,016	25	52	74	8,0
	АВк (65–80)	67–77	23300	510	46	16	11	0,062	3,9	0,022	22	59	76	7,7
Вк (80–102)	85–95	21400	420	39	17	11	0,044	3,4	0,025	23	49	71	7,5	
Ск (140–...)	140–150	22400	470	39	16	11	0,048	2,9	0,016	21	51	74	7,5	
Р-9-Ф-18 Черноземужный (Haplic Chernozems Pachic), Рубцовская зона	Апах к (0–20)	0–6	29400	750	64	24	13	0,13	4,8	0,025	29	80	99	12
		10–20	29700	750	65	25	15	0,11	4,7	0,025	29	72	97	12
	АВк (20–30)	20–30	33600	720	69	28	16	0,085	5,3	0,031	39	84	110	13
	Вк (30–42)	30–40	31400	590	63	25	15	0,077	5,6	0,028	43	72	110	12
	Вк (42–60)	45–55	26500	550	50	20	13	0,090	4,0	0,016	30	68	93	10
	ВСк (60–70)	60–70	24700	520	47	19	13	0,083	3,9	0,015	30	63	86	9
70–80		24100	510	45	21	12	0,064	5,3	0,030	30	61	78	10	
Ск (80–90)	80–90	33800	730	68	29	15	0,073	6,2	0,040	48	84	110	13	
Р-10-Ф-18 Темно-каштановая почва (Haplic Kastanozems Chromic), Кулундинская зона	Апах (0–29)	0–14	26200	670	57	23	14	0,095	4,7	0,065	31	61	80	10
		15–25	26400	670	55	22	14	0,080	4,3	0,075	32	62	81	10
	АВк (29–40)	30–40	27700	540	44	22	12	0,050	5,5	0,094	37	66	90	9
	Вк (40–52)	40–52	26300	520	50	23	12	0,064	6,1	0,072	35	54	87	10
	Вк (52–60)	52–60	22600	470	41	19	11	0,064	6,0	0,056	28	49	76	8
ВСк (60–99)	65–75	19400	480	34	14	11	0,053	4,4	0,037	24	43	67	8	

Разрез, почва, зона	Горизонт, глубина, см	Глубина образца, см	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Ni	Cr	V	Co
		85–95	21400	500	37	16	11	0,047	4,1	0,045	25	47	71	8
	Ск (99–...)	105–115	18400	480	32	13	12	0,048	3,5	0,050	23	38	61	7
Р-14-Ф-18 Чернозем обыкновенный (Voronich Chernozems Pachic), Предгорная зона	Апах к (0–27)	0–10	38800	930	89	36	20	0,16	6,4	0,028	50	84	120	15
		10–20	40700	980	93	40	19	0,14	6,5	0,022	53	92	125	16
	Ак (27–36)	27–36	41200	1010	88	36	15	0,11	7,1	0,022	55	94	126	17
	АВк (36–52)	40–50	39100	920	82	34	14	0,11	7,2	0,019	52	89	120	15
	Вк (52–75)	60–70	39400	890	82	33	14	0,096	6,7	0,020	51	92	120	15
	ВСк (75–...)	100–110	39900	820	85	34	13	0,081	6,7	0,011	51	93	120	15
135–145		36400	880	75	31	13	0,081	6,3	0,082	46	81	110	15	
Кларк в почвах (Ярошевский, 2006)			38000	500	60	23,0	20,0	0,16	6,00	0,1	20,0	60	90	9,00
ПДК с учетом фона (кларка) (СанПиН 1.2.3685-21)			–	<b>1500</b>	–	–	–	–	–	<b>2,1</b>	–	–	<b>150</b>	–
ОДК с учетом фона (кларка) (СанПиН 1.2.3685-21)			–	–	<b>55<sup>а</sup>/110<sup>б</sup></b> <b>/220<sup>в</sup></b>	<b>33<sup>а</sup>/66<sup>б</sup></b> <b>/132<sup>в</sup></b>	<b>32<sup>а</sup>/65<sup>б</sup></b> <b>/130<sup>в</sup></b>	<b>0,5<sup>а</sup>/1<sup>б</sup></b> <b>/2<sup>в</sup></b>	<b>2<sup>а</sup>/5<sup>б</sup></b> <b>/10<sup>в</sup></b>	–	<b>20<sup>а</sup>/40<sup>б</sup></b> <b>/80<sup>в</sup></b>	–	–	–
Нижняя пороговая концентрация в почве (Ковальский, Андрианова, 1970)			–	до 400	до 30	<6-15	–	–	–	–	–	–	–	<2-7
Верхняя пороговая концентрация в почве (Ковальский, Андрианова, 1970)			–	>3000	>70	>60	–	–	–	–	–	–	–	>30

Примечание. Прочерк – нет данных. а – песчаные и супесчаные; б – кислые (суглинистые и глинистые), рНКС< 5,5; в – близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рНКС> 5,5.

Таблица 2

Статистические параметры содержания химических элементов в почвенном профиле (n=58)

Параметр	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Ni	Cr	V	Co
X±x	31674±887	714±21	65±2	25,7±0,8	13,6±0,3	0,089±0,004	5,0±0,2	0,037±0,003	39±1	79±3	101±3	12,3±0,4
lim	18400–42000	420–1010	32–93	13–40	10–20	0,028–0,16	1,7–7,3	0,011–0,11	19–60	37–130	61–130	7–17
V, %	21	22	25	25	15	34	24	61	28	28	19	24

Примечание. n – число проб, lim – пределы колебаний, X±x – средняя арифметическая и ее ошибка, V – коэффициент вариации.

Таким образом, несмотря на наличие на территории края многочисленных полиметаллических месторождений, ореолов их рассеяния и предприятий по переработке полиметаллических руд, пахотные почвы исследуемого региона не загрязнены тяжелыми металлами. Уровень содержания химических элементов обусловлен исходным содержанием элементов в почвообразующих породах.

Буферная способность почв позволяет успешно противостоять действию внешних факторов, реализовать защитные возможности почвы, влияющие на подвижность химических элементов. Чем выше буферность почвы, тем большее количество металлов она в состоянии переводить в слабоподвижные соединения, тем самым, ограничивая миграцию избыточного количества химических элементов по пищевой цепочке и в сопредельные среды (Лебедев и др., 2011).

Согласно шкале В.Б. Ильина и А.И. Сысо (2001), основными показателями, учитываемыми при оценке буферной способности почв, являются гранулометрический состав, степень гумусированности и водородный показатель ( $pH_{водн}$ ); в инактивации избыточных ионов также участвуют полторные оксиды и карбонаты. Степень буферности большинства исследуемых пахотных почв довольно высокая (табл. 3). В случае загрязнения почв тяжелыми металлами последние будут переводиться в малодоступную для растений форму. Согласно данным (Ильин, 1995), при средней степени буферности чернозема выщелоченного Приобского плато количество свинца в почвах, с которого начнется накопление металла в листьях пшеницы, – 400–500 мг/кг, что в 25–30 раз превышает концентрацию в пахотных почвах Алтайского края.

Таблица 3

Степень буферности пахотных почв по отношению к тяжелым металлам

Разрез	Количество баллов, полученных за счет					Сумма баллов	Степень буферности
	гумуса	физической глины	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	карбонатов	pH		
P-5-Ф-18	6,5	15	7	1,0	10,0	<b>39,5</b>	повышенная
P-6-Ф-18	3,5	5	4	1,0	7,5	<b>21,0</b>	средняя
P-9-Ф-18	3,5	10	4	3,5	12,5	<b>33,5</b>	повышенная
P-10-Ф-18	5,0	5	4	1,0	10,0	<b>25,0</b>	средняя
P-14-Ф-18	5,0	10	4	9,5	15,0	<b>43,5</b>	высокая

Качество и экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции в значительной степени зависят от содержания в ней тяжелых металлов. Ценность хлебных продуктов связана с качеством зерна. Так, согласно (Guttieri et al., 2015), 50% содержащегося в зерне кадмия поступает в муку, тогда как, в муке остаётся только 31% цинка и 22% железа от их исходного содержания в зерне.

Проведенные исследования показали, что содержание нормируемых элементов (свинца, кадмия, ртути, мышьяка) в образцах зерна яровой пшеницы, выращенной в Алтайском крае, отвечает отечественным нормам и требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности зерна», остальных элементов – находится в пределах нормальных для растений диапазонов (табл. 4).

Несмотря на то, что содержание микроэлементов в зерне разных агроэкологических зон несколько различается, эти флуктуации находятся в пределах нормы. Варьирование содержания микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Fe) незначительное (11–20%), так как элементный химический состав репродуктивных органов находится под строгим генетическим контролем и мало подвержен изменению под влиянием факторов окружающей среды (Ильин, Сысо, 2001). Концентрации элементов, не являющихся биогенными, варьируют в более широких пределах (40–55%).

Микроэлементы содержатся в растениях в незначительных количествах. Однако недостаток, как и избыток многих микроэлементов, вызывает, неблагоприятные последствия для роста и продуктивности растений, что сказывается на обеспечении человека и животных полноценным питанием определенного качественного состава. В связи с этим проблема снабжения растений микроэлементами все больше приобретает общебиологическое значение. К микроэлементам, необходимым организмам животных, относятся цинк, медь, кобальт, йод, марганец, молибден, бор. Согласно мнению некоторых авторов (Bouis, 1995; Morgunov et al., 2007; Velu et al., 2018;

Таблица 4

Содержание химических элементов в зерне пшеницы, мг/кг воздушно-сухого вещества

Разрез (прикопка)	Pb	As	Cd	Hg	Mn	Zn	Cu	Fe	Co	V	Ni
P-2-Ф-18	0,057	<0,05	0,010	<0,005	54	51	6,1	78	<0,01	0,069	0,12
P-5-Ф-18	0,062	<0,05	0,023	<0,005	63	62	6,7	90	<0,01	0,25	0,28
P-6-Ф-18	0,093	<0,05	0,024	<0,005	48	31	4,5	73	<0,01	<0,02	0,23
P-8-Ф-18	0,22	<0,05	0,010	<0,005	58	46	6,4	57	0,081	<0,02	0,43
P-9-Ф-18	0,22	<0,05	0,033	<0,005	63	43	6,3	75	0,049	0,041	0,44
P-10-Ф-18	0,28	<0,05	0,032	<0,005	66	43	6,1	77	0,057	<0,01	0,32
P-12-Ф-18	0,21	<0,05	0,010	<0,005	58	37	6,0	62	0,097	0,041	0,33
T.6	0,22	<0,05	0,024	<0,005	71	31	6,6	53	0,11	<0,01	0,76
P-14-Ф-18	0,16	<0,05	0,026	<0,005	57	36	4,7	56	0,088	<0,01	0,27
T.11	0,13	<0,05	0,030	<0,005	55	26	3,8	51	0,048	<0,01	0,19
Допустимый уровень в продовольственном зерне*	0,5	0,2	0,1	0,03	–	–	–	–	–	–	–
ПДУ в зерне, поставляемом на пищевые цели**	0,5	0,2	0,1	0,03	–	–	–	–	–	–	–
Нижняя пороговая концентрация в кормах (Ковальский и др., 1971)	–	–	–	–	до 20	до 20–30	до 3–5	до 25	до 0,1– 0,25	–	–
Верхняя пороговая концентрация в кормах (Ковальский и др., 1971)	–	–	–	–	60–70 и выше	60–100 и выше	20–40 и выше	–	1 и выше	–	–
Мордовия, черноземы выщелоченные (Пугаев, 2013)	0,08	–	–	–	9,0	–	2,1	–	–	–	–
Башкирия, степь и лесостепь (Чернов, Гусманов, 2013)	0,01–0,37	–	0,01–0,11	–	–	21,66– 46,69	3,07–9,89	–	–	–	–
Оренбургская область (Лебедев и др., 2011)	0,155– 0,300	0,061– 0,083	не обнаруж ено– 0,009	–	–	18,86– 25,02	4,18–4,80	–	–	–	–
Окрестности г. Красноярска (Берсенева, 2018)	<0,1– 0,25	<0,02	<0,05– 0,71	<0,001	–	21,2–44,5	–	–	–	–	–
Гродненская область, Беларусь (Самусик, Головатый, 2021)	0,11–0,33	–	0,04–0,07	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Прочерк – нет данных. \*(СанПиН 2.3.2.1078-01). \*\*Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011 О безопасности зерна. Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 874.



Guttieri et al., 2015), считающих концентрацию цинка в зерне современных сортов пшеницы до 42 мг/кг низкой, в половине исследуемых образцов количество элемента недостаточное. Тем не менее, по данным (Wang et al., 2020), содержание цинка в зерне пшеницы в разных странах варьирует от 25,1 мг/кг в Европе до 33,9 мг/кг в Северной Америке, что ниже большинства полученным нами данных. Рассматривая зерно, выращенное в Алтайском крае, в качестве корма для животных, отметим, что содержание кобальта в 90% образцов меньше нижней пороговой концентрации элемента в кормах (Ковальский и др., 1971). Самые низкие концентрации элемента (ниже предела обнаружения метода определения) выявлены в зерне предгорий Салаира и Приобья. В условиях дефицита кобальта при откорме на зерне следует внимательно относиться к пищевому рациону животных, у которых микроэлемент участвует в синтезе витамина В12. Остальные из исследованных элементов содержатся в зерне в оптимальных для животных количествах.

#### ВЫВОДЫ

1. Пахотные почвы Алтайского края не загрязнены тяжелыми металлами. Необходимые для растений, животных, человека элементы – марганец, цинк, медь, кобальт – в почвах содержатся в оптимальных для живых организмов количествах. Уровень содержания химических элементов обусловлен исходным содержанием элементов в почвообразующих породах.

2. Степень буферности исследуемых пахотных почв по отношению к тяжелым металлам находится в пределах от средней до высокой.

3. Содержание элементов в зерне яровой пшеницы – основной возделываемой в крае зерновой культуры – соответствует мировым данным для зерна. Количество нормируемых элементов (свинца, кадмия, ртути, мышьяка) отвечает отечественным нормам и требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности зерна».

4. При использовании зерна в качестве моноорма возможен дефицит кобальта у животных.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2021-0003, при поддержке гранта РФФИ 18-45-220019.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементы человека: этиология, классификация, органопатология. Москва: Медицина, 1991. 496 с.
- Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пузанов А.В., Рождественская Т.А. Аэрогенная и водная миграция микроэлементов в условиях техногенных ландшафтов // Ползуновский вестник. 2006. № 2-1. С. 255–259. [https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2006\\_02\\_1/pdf/255baboshkina.pdf](https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2006_02_1/pdf/255baboshkina.pdf)
- Берсенева, М. Л. Содержание некоторых тяжелых металлов в зерне пшеницы // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (137). С. 266–272. [http://www.kgau.ru/vestnik/2018\\_2/content/40.pdf](http://www.kgau.ru/vestnik/2018_2/content/40.pdf)
- Бурлакова Л.М., Антонова О.И., Деев Н.Г., Морковкин Г.Г. Экоотоксиканты в системе «почва-растения-животные» (на примере отдельных зон Алтайского края). Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2001. 236 с.
- Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Институт физиологии растений АН УССР. Киев: Наук. Думка, 1969. 516 с.
- Гамзикова О.И., Барсукова В.С. Изменение устойчивости пшеницы к тяжелым металлам // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1996. № 2. С. 13–15.
- Горюнова Т.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях районов полиметаллических месторождений // Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы (посвящается 70-летию организации В.И. Вернадским биогеохимической лаборатории и 100-летию со дня рождения В.В. Ковальского). Материалы Второй российской школы, 1999. С. 81–83.
- Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохимия. 1995. № 13. С. 109–113.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: СО РАН, 2001. 231 с.
- Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. Москва: Наука, 1970. 179 с.

- Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И. Микроэлементы в растениях и кормах. Москва: Колос, 1971. 235 с.
- Кондратенко Е.П., Константинова О.Б., Соболева О.М., Ижмулкина Е.А., Вербицкая Н.В. Оценка уровня накопления макро- и микроэлементов зерном озимых культур, выращенных на юго-востоке Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 6. С. 18–20.
- Лебедев С.В., Родионова Г.Б., Сальникова Е.В., Кудрявцева Е.А. Оценка содержания тяжелых металлов в зерновых культурах Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 407–409.
- Мальгин М.А., Пузанов А.В., Ельчиногова О.А., Горюнова Т.А. Цезий-137 в почвах // Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. материалы научных исследований. Комитет администрации Алтайского края по ликвидации последствий многолетнего воздействия ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне. Барнаул, 1993. С. 52–64.
- Морозова Т.С., Колесниченко Е.Ю. Агрэкологическая оценка систематического применения удобрений на накопление кадмия и свинца в черноземе типичном // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 4 (24). С. 226–235.
- Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 4. С. 8–16.
- Олешко В.П., Литвинцев П.А., Часовских Д.В. Эффективность применения минеральных удобрений на различных сортах яровой мягкой пшеницы в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (128). С. 3–17.
- Пугаев С.В. Содержание тяжелых металлов в зерне озимой и яровой пшеницы, произрастающей в разных экологических условиях // Вестник Мордовского университета. 2013. № 3–4. С. 89–93.
- Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Горбачев И.В. Особенности миграции тяжелых металлов в природно-техногенных аномалиях Северо-западного Алтая // Геохимия. 2012. № 4. С. 393–402.
- Пузанов А.В., Мальгин М.А., Горюнова Т.А., Ельчиногова О.А. Микроэлементы в почвах и растениях средней части Кулундинской депрессии // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки Республики Казахстан, 2002. С. 134–143.
- Рассыпнов В.А. Агрэкологическое районирование территории на основе бонитировки почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 12 (98). С. 39–41.
- Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Паэгле Г.В., Куницкая Т.А. Система оптимизаций и методы диагностики минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1989. 195 с.
- Самусик Е.А., Головатый С.Е. Тяжелые металлы в почвах и в растениях пшеницы в зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021. № 4. С. 76–88.
- Сладкова Н.А. Распределения цинка и кадмия в системе торфяная почва – растение под влиянием фосфорных и калийных удобрений. Диссертация... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2016. 180 с.
- Фосфоритность древних отложений Алтае-Саянской складчатой области. Труды ГосНИИ горно-химического сырья. Вып. 12. Москва, 1968. С. 44–51.
- Чернов О.В., Гусманов Р.У. Экономико-экологический метод оценки зерновых культур в Республике Башкортостан // Агропродовольственная политика России. 2013. № 2 (14). С. 72–74.
- Школьник М.Я. Микроэлементы в питании растений. Физиология сельскохозяйственных растений. М.: Изд-во МГУ, 1967. Т. 2. С. 128–203.
- Ярошевский А.А. Распространенность химических элементов в земной коре // Геохимия. 2006. № 1. С. 54–62. DOI: 10.1134/S001670290601006X.
- Bouis H. Enrichment of Food Staples through Plant Breeding: a New Strategy for Fighting Micronutrient Malnutrition // Nutrition Reviews. 1996. Vol. 54, Iss. 5. P. 131–137. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1996.tb03915.x>.
- Davister A. Studies and Research on Processes for the elimination of cadmium from phosphoric acid. OECD Proceeding / Fertilizers as a Source of Cadmium. IOMC. Paris, 1996. P. 21–30.
- Jensen A., Bro-Rasmussen F. Review of Environmental Fate and Exposure of Cadmium in the European Environment // EEC contract NO. Final report. 1990. № 5. 122 p.

Guttieri M.J., Seabourn B.W., Liu C., Baenziger P.S., Waters B.M. Distribution of Cadmium, Iron, and Zinc in Millstreams of Hard Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015. Vol. 63. Iss. 49. P. 10681–10688. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04337>.

Europe's Environment, Statistical Compendium for the Dobris Assessment. Brussels. Eurostat, European Commission, 1995. 455 p.

Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

Morgunov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A.I., Dzhunusova M., Yessimbekova M.A., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., Cakmak Y. Iron and Zinc Grain Density in Common Wheat Grown in Central Asia // Euphytica. 2007. Vol. 155. P. 193–203. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9321-2>.

Velu G., Crespo-Herrera L., Huert J., Payne T., Guzman C., Singh R.P. Assessing Genetic Diversity to Breed Competitive Biofortified Wheat With Increased Grain Zn and Fe Concentrations // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. P. 1971. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01971>.

Wang J.W., Kong F., Liu R., Fan Q., Zhang X. Zinc in Wheat Grain, Processing, and Food // Frontiers in Nutrition. 2020. Vol. 7. P. 124. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00124>.

*Поступила в редакцию 19.10.2022*

*Принята 28.03.2023*

*Опубликована 04.04.2023*

#### **Сведения об авторах:**

**Пузанов Александр Васильевич** – профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [puzanov@iwep.ru](mailto:puzanov@iwep.ru)

**Рождественская Тамара Анатольевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [rtamara@iwep.ru](mailto:rtamara@iwep.ru)

**Кирста Юрий Богданович** – профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [kirsta2007@mail.ru](mailto:kirsta2007@mail.ru)

**Ельчининова Ольга Анатольевна** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН (с. Кызыл-Озек, Россия); [gafiver@mail.gorny.ru](mailto:gafiver@mail.gorny.ru)

**Трошкова Ирина Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [egorka\\_iren@mail.ru](mailto:egorka_iren@mail.ru)

**Балыкин Дмитрий Николаевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [balykindn@yandex.ru](mailto:balykindn@yandex.ru)

**Балыкин Сергей Николаевич** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [SNBalykin@yandex.ru](mailto:SNBalykin@yandex.ru)

**Салтыков Алексей Владимирович** – научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [saltykovAV@yandex.ru](mailto:saltykovAV@yandex.ru)

**Бабошкина Светлана Вадимовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [arsenida@rambler.ru](mailto:arsenida@rambler.ru)

**Горбачев Иван Владимирович** – АО «ЦЭНКИ» (Москва, Россия); [giv1980@yandex.ru](mailto:giv1980@yandex.ru)











**Пеленева Мария Петровна** – ведущий технолог лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); [kuroi\\_t@mail.ru](mailto:kuroi_t@mail.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## MICROELEMENTS IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE ALTAI REGION

© 2023 A. V. Puzanov <sup>1</sup>, T. A. Rozhdestvenskaya <sup>1</sup>, Y. B. Kirsta <sup>1</sup>, O. A. Elchinina <sup>1</sup>, I. A. Troshkova <sup>1</sup>, D. N. Balykin <sup>1</sup>, S. N. Balykin <sup>1</sup>, A. V. Saltykov <sup>1</sup>, S. V. Baboshkina <sup>1</sup>, I. V. Gorbachev<sup>2</sup>, M. P. Peleneva <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia. E-mail: [rtamara@iwep.ru](mailto:rtamara@iwep.ru)

<sup>2</sup>Center for Operation of Space Ground Based Infrastructure NII PM, Moscow, Russia. E-mail: [giv1980@yandex.ru](mailto:giv1980@yandex.ru)

**The aim of the study** was to assess ecological, biogeochemical and sanitary-hygienic aspects of arable soils of the Altai region and spring wheat grain produced there.

**Location and time of the study.** The representative study sites of arable land were located in various agroecological zones of the Altai region: Kulundinskaya (dry steppe on chestnut soils of the Kulunda lowland), Rubtsovskoye (arid steppe on chernozems of the southern Priobskoye plateau), Zarinskaya (deciduous forests and steppe meadows on leached chernozems of the Bie-Chumyshskaya elevated plain and podzolized chernozems and dark gray forest soils of the Salair Foothills), Piedmont (meadow steppe on the chernozems of the Prealtai Plain), Priobskaya (split steppe on ordinary chernozems of the Priobsky plateau), Aleiskaya (moderately arid steppe on ordinary chernozems of the Priobsky plateau), Biyskaya (forest steppe on leached and gray forest soils of the Bie-Chumysh Upland). The research was carried out in 2018.

**Methods.** The content of trace elements in soils and wheat grain was determined by atomic emission and atomic absorption spectrometry according to PND F 14.1:2:4. 139; 140-98; HCAM №450С; ПД 52.24.479-95.

**Results.** It was found that in the arable soils of the Altai region the elements, necessary for plants, animals, and humans, were contained in optimal quantities (average content of Mn 714, Zn 65, Cu 25.7, Co 12.3 mg/kg), maintaining the normal functioning of living organisms. Most toxic elements were found at the levels, comparable with average concentrations in soils of the world and with the data for uncontaminated soils in West Siberia, not exceeding the maximal permissible concentrations. The average concentrations of Cd, Pb, As and Hg in the studied soils were 0.089, 13.6, 5.0, 0.037 mg/kg, respectively. No biogeochemical province had been identified for any of the elements. The studied soils have a fairly high buffering capacity for heavy metals. The chemical elements' content in the spring wheat grain, the main crop in the region, was close to the corresponding world data for grain. The amount of regulated substances (lead, cadmium, mercury, arsenic) meets domestic standards and the requirements of the Technical Regulations of the Customs Union "On Grain Safety".

**Conclusions.** The arable soils of the Altai region are not contaminated with heavy metals. Trace elements such as manganese, zinc, copper, cobalt are contained in soils in optimal quantities for living organisms. However, using the grain as monofeed can result in Co deficiency in animals. The content of chemical elements in soils resulted from the initial content of elements in soil-forming parent rocks. The degree of heavy metals' buffering by the studied arable soils, depending of the metal, ranged from medium to high.

**Key words:** arable soils; grain; chemical elements; ecological and biogeochemical assessment of soils; sanitary and hygienic assessment of soils.

**How to cite:** Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A., Kirsta Y.B., Elchinina O.A., Troshkova I.A., Balykin D.N., Balykin S.N., Saltykov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V., Peleneva M.P. Microelements in the agricultural landscapes of the Altai region // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(1). e188. DOI: [10.31251/pos.v6i1.188](https://doi.org/10.31251/pos.v6i1.188) (in Russian with English abstract).

## REFERENCES

- Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strochkova L. S. Human trace elements: etiology, classification, organopathology. Moscow: Medicine, 1991. 496 p. (in Russian).
- Baboshkina S.V., Gorbachev I.V., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A. Aerogenic and water migration of trace elements in technogenic landscapes. *Polzunovskiy vestnik*. 2006. No. 2–1. P. 255–259. (in Russian). [https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2006\\_02\\_1/pdf/255baboshkina.pdf](https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2006_02_1/pdf/255baboshkina.pdf)
- Berseneva M.L. The content of some heavy metals in wheat grain. *Bulletin of Krasnoyarsk agrarian University* 2018. No. 2 (137). P. 266–272. (in Russian). [http://www.kgau.ru/vestnik/2018\\_2/content/40.pdf](http://www.kgau.ru/vestnik/2018_2/content/40.pdf)

- Burlakova L.M., Antonova O.I., Deev N.G., Morkovkin G.G. Ecotoxicants in the system "soil-plants-animals" (on the example of individual zones of the Altai Territory). Barnaul: Altai State Agrarian University, 2001. 236 p. (in Russian).
- Vlasyuk P.A. Biological elements in the vital activity of plants. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of Plant Physiology. Kiev: Nauk. Dumka, 1969. 516 p.
- Gamzikova O.I., Barsukova B.C. Change in wheat resistance to heavy metals. Doklady of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 1996. No. 2. P. 13–15. (in Russian).
- Goryunova T.A. Heavy metals in soils and plants of areas of polymetallic deposits. Geochemical ecology and biogeochemical zoning of the biosphere (Dedicated to the 70th anniversary of the organization of the Biogeochemical Laboratory by V.I. Vernadsky and the 100th anniversary of the birth of V.V. Kovalsky). Materials of the Second Russian School. 1999. P. 81–83. (in Russian).
- Ilyin V.B. Evaluation of soil bufferability in relation to heavy metals. Agrokhimia. 1995. No. 13. P. 109–113. (in Russian).
- Ilyin V.B., Syso A.I. Microelements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2001. 231 p. (in Russian).
- Kovalsky V.V., Andrianova G.A. Microelements in soils of the USSR. Moscow: Nauka Publ., 1970. 179 p. (in Russian).
- Kovalsky V.V., Rajetskaya Yu.I., Gracheva T.I. Microelements in plants and forages. Moscow: Kolos Publ., 1971. 235 p. (in Russian).
- Kondratenko E.P., Konstantinova O.B., Soboleva O.M., Izmulkina E.A., Verbitskaya N.V. Assessment of the level of accumulation of macro- and microelements by grain of winter crops grown in the south-east of Western Siberia. The Journal of Science and Technology of AICis. 2015. Vol. 29. No. 6. P. 18–20. (in Russian).
- Lebedev S.V., Rodionova G.B., Salnikova E.V., Kudryavtseva E.A. Assessment of the content of heavy metals in grain crops in the Orenburg region. Vestnik of the Orenburg State University. 2011. No. 12 (131). P. 407–409. (in Russian).
- Malgin M.A., Puzanov A.V., Yelchinina O.A., Goryunova T.A. Cesium-137 in soils. Nuclear tests, environment and health of the population of the Altai Territory. materials of scientific research. The Committee of the Administration of the Altai Territory for the elimination of the consequences of the long-term effects of nuclear explosions at the Semipalatinsk test site. Barnaul, 1993. P. 52–64. (in Russian).
- Morozova T.S., Kolesnichenko E.Yu. Agri-environmental impact assessment of systematic application of fertilizers on the accumulation of cadmium and lead in the typical chernozem. Innovations in agriculture: problems and prospects. 2019. No. 4 (24). P. 226–235. (in Russian).
- Ovcharenko M.M. Heavy metals in the soil-plant-fertilizer system. Chemistry in agriculture. 1995. No. 4. P. 8–16. (in Russian).
- Oleshko V.P., Litvintsev P.A., Chasovskikh D.V. The effectiveness of mineral fertilizers on various varieties of spring soft wheat in the conditions of the Altai Ob region. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2015. No. 6 (128). P. 3–17. (in Russian).
- Pugaev S.V. Content of heavy metals in the grain and winter wheat growing in different environmental conditions. Mordovia University Bulletin. 2013. No. 3–4. P. 89–93. (in Russian).
- Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V. Characteristics of heavy metal migration in the natural-anthropogenic anomalies of the North-Western Altai. Geochemistry International. 2012. Vol. 50. No. 4. P. 358–366.
- Puzanov A.V., Malgin M.A., Goryunova T.A., Yelchinina O.A. Trace elements in soils and plants of the middle part of the Kulunda depression. Heavy metals and radionuclides in the environment. collection of reports of the international scientific and practical conference. Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, 2002. P. 134–143. (in Kazakhstan).
- Rassypnov V.A. Agro-ecological zoning based on soil evaluation. Bulletin of Altai State Agrarian University. 2012. No. 12 (98). P. 39–41. (in Russian).
- Rinkis G.Ya., Ramane H.K., Paegle G.V., Kunitskaya T.A. Optimization system and diagnostic methods of mineral nutrition of plants. Riga: Zinatne, 1989. 195 p.
- Samusik E.A., Golovaty S.E. Heavy metals in soils and wheat plants in the area of influence of a building materials enterprise. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2021. No. 4. P. 76–88. (in Belarus).

- Sladkova N.A. Distribution of zinc and cadmium in the peat soil – plant system under the influence of phosphorus and potash fertilizers. Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. St. Petersburg, 2016. 180 p. (in Russian).
- Phosphorization of ancient deposits of the Altai-Sayan folded region. Proceedings of the State Research Institute of Mining and Chemical Raw Materials. Vol. 12. Moscow, 1968. P. 44–51. (in Russian).
- Chernov O.V., Gusmanov R.U. Economic and ecological method of evaluation of grain crops in the Republic of Bashkortostan. Agro-food policy in Russia. 2013. No. 2 (14). P. 72–74. (in Russian).
- Shkolnik M.Ya. Trace elements in plant nutrition. Physiology of agricultural plants. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1967. Vol. 2. P. 128–203. (in Russian).
- Yaroshevsky A.A. Abundances of chemical elements in the earth's crust. *Geochemistry International*. 2006. Vol. 44. No. 1. P. 48–55. DOI: 10.1134/S001670290601006X.
- Bouis H. Enrichment of Food Staples through Plant Breeding: a New Strategy for Fighting Micronutrient Malnutrition. *Nutrition Reviews*. 1996. Vol. 54. Iss. 5. P. 131–137. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1996.tb03915.x>.
- Davister A. Studies and Research on Processes for the elimination of cadmium from phosphoric acid. OECD Proceeding / Fertilizers as a Source of Cadmium. IOMC. Paris, 1996. P. 21–30.
- Jensen A., Bro-Rasmussen F. Review of Environmental Fate and Exposure of Cadmium in the European Environment. EEC contract NO. Final report. 1990. No. 5. 122 p.
- Guttieri M.J., Seabourn B.W., Liu C., Baenziger P.S., Waters B.M. Distribution of Cadmium, Iron, and Zinc in Millstreams of Hard Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. Iss. 49. P. 10681–10688. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04337>.
- Europe's Environment, Statistical Compendium for the Dobris Assessment. Brussels. Eurostat, European Commission, 1995. 455 p.
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.
- Morgunov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A.I., Dzhunusova M., Yessimbekova M.A., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., Cakmak Y. Iron and Zinc Grain Density in Common Wheat Grown in Central Asia. *Euphytica*. 2007. Vol. 155. P. 193–203. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9321-2>.
- Velu G., Crespo-Herrera L., Huert J., Payne T., Guzman C., Singh R.P. Assessing Genetic Diversity to Breed Competitive Biofortified Wheat with Increased Grain Zn and Fe Concentrations. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 1971. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01971>.
- Wang J.W., Kong F., Liu R., Fan Q., Zhang X. Zinc in Wheat Grain, Processing, and Food. *Frontiers in Nutrition*. 2020. Vol. 7. P. 124. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00124>.

#### FUNDING

The article was prepared within the framework of the state task of the IWEP SB RAS (project No. FUFZ-2021-0003). The research was supported by RFBR (RFBR grant No. 18-45-220019).

*Received 19 October 2022*

*Accepted 28 March 2023*

*Published 04 April 2023*

#### About the author(s):

**Puzanov Alexander Vasilyevich** – Professor, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [puzanov@iwep.ru](mailto:puzanov@iwep.ru)

**Rozhdestvenskaya Tamara Anatolyevna** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [rtamara@iwep.ru](mailto:rtamara@iwep.ru)

**Kirsta Yuri Bogdanovich** – Professor, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [kirsta2007@mail.ru](mailto:kirsta2007@mail.ru)

**Yelchinina Olga Anatolyevna** – Doctor of Agricultural Sciences, Docent, Gorno-Altai Branch of Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Kyzyl-Ozek, Russia); [gafivep@mail.gorny.ru](mailto:gafivep@mail.gorny.ru)

**Troshkova Irina Aleksandrovna** – Junior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [egorka\\_iren@mail.ru](mailto:egorka_iren@mail.ru)

**Balykin Dmitry Nikolaevich** – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [balykindn@yandex.ru](mailto:balykindn@yandex.ru)

**Balykin Sergey Nikolaevich** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [SNBalykin@yandex.ru](mailto:SNBalykin@yandex.ru)

**Saltykov Alexey Vladimirovich** – Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [saltykovAV@yandex.ru](mailto:saltykovAV@yandex.ru)

**Baboshkina Svetlana Vadimovna** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [arsenida@rambler.ru](mailto:arsenida@rambler.ru)

**Gorbachev Ivan Vladimirovich** – Center for Operation of Space Ground Based Infrastructure NII PM, (Moscow, Russia); [giv1980@yandex.ru](mailto:giv1980@yandex.ru)

**Peleneva Maria Petrovna** – Leading technologist, Laboratory of Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); [kuroi\\_t@mail.ru](mailto:kuroi_t@mail.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)