

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2018

Том 1. Выпуск 2

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, тел.: +7(383) 3639035, ИПА СО РАН, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Титлянова Аргента Антониновна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Дюкарев Анатолий Григорьевич - кандидат биологических наук, доктор географических наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Мордкович Вячеслав Генрихович - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии беспозвоночных животных ФГБУН Институт систематики и экологии животных СО РАН

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, зав.лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Члены редколлегии

Сысо Александр Иванович - доктор биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии, директор ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Андроханов Владимир Алексеевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекультивации почв, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Добротворская Надежда Ивановна - доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией рационального землепользования Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН.

Кирпотин Сергей Николаевич - доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гольева Александра Амуриевна - доктор географических наук, ведущий научный сотрудник отдела географии и эволюции почв ФГБУН Институт географии РАН, председатель Российской ассоциации фитолитологов

Кулижский Сергей Павлович - доктор биологических наук, проректор по социальным вопросам ФГБУВПО Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гопп Наталья Владимировна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генезиса и географии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Кудряшова Светлана Яковлевна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Танасиенко Анатолий Алексеевич - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Лойко Сергей Васильевич - кандидат биологических наук, заведующий почвенным музеем, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального Исследовательского Томского государственного университета

Миронычева-Токарева Нина Петровна - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Смоленцев Борис Анатольевич - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Фотев Юрий Валентинович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции пищевых растений ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

Якутина Ольга Петровна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Беланов Иван Петрович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Содержание

Сысо А.И. От редколлегии	51
Почвы и круговорот химических элементов	
Азаренко Ю.А. Эколого-агрохимическая характеристика содержания микроэлементов в системе почва-растение в агроценозах Омского Прииртышья	52
Деградация и рекультивация почв	
Беланов И.П., Савенков О.А., Наумова Н.Б. Фитотоксичность почвосубстратов на основе шлаков металлургического производства, используемых в рекультивации	67
Юбилеи и памятные даты	
Березин Л. В., Азаренко Ю.А. Вклад к.п. Горшенина в развитие агропочвоведения Сибири (к 130-летию со дня рождения и 100-летию Омского Государственного аграрного университета)	80
Артамонова В.С., Андроханов В.А. К 100-летию профессора Сергея Сергеевича Трофимова	89
Шарков И.Н. Ирина Яковлевна Маслова – заслуженный агрохимик ИПА СО РАН	93
Обзоры и рецензии	
Наумова Н.Б. К вопросу об определении содержания органического углерода в почве	98



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

В этом году исполнилось 100 лет со дня основания Омского государственного аграрного университета. Замечательный юбилей, которым могут похвастаться немногие вузы. Эти сто лет пришлось на исключительно событийно-насыщенный период в истории страны, полный драматизма и трагедий, упорного труда и глубоких разочарований, эйфории от свершений и простого удовлетворения от выполнения повседневных задач. Ко всем поздравлениям, прозвучавшим на торжественных мероприятиях в июне 2018 г. по поводу этого юбилея, мы вряд ли сможем добавить что-то новое. Тем не менее отметим, что влияние ОмГАУ на аграрное производство, управление и науку Сибири и страны в целом нельзя переоценить: производственный, научный и образовательный профиль его выпускников и сотрудников выделяется в российском ландшафте соответствующих специальностей. И особенно это заметно в областях, так или иначе связанных с почвой – основным средством производства в сельском хозяйстве.

Так, в этом номере журнала «Почвы и окружающая среда» читатель найдет статью, посвященную 130-летию со дня рождения Константина Павловича Горшенина – замечательного ученого-почвоведом, профессора, много лет проработавшего в Омском сельскохозяйственном институте. Можно много говорить об основных результатах научной и преподавательской деятельности Константина Павловича, но здесь мы упомянем лишь одну статью. Будучи неравнодушным человеком, в 1965 году, т.е. в возрасте 77 лет, Константин Павлович публикует статью в журнале «Почвоведение» (1965, №12, С.91-97) под заголовком «О некоторых недостатках в почвенной науке». Озабочившись «потускнением» почвоведения и задавшись вопросом о том, «почему наша передовая наука начинает блекнуть» (там же, С.92), Горшенин К.П. перечисляет основные причины создавшейся ситуации и пути выхода из нее. Многие утверждения этой статьи актуальны до сих пор, как по научной, так и по производственной сути. Но ценность статьи не только и не столько в актуальности и общем пафосе, сколько – в плане значения для развития почвенной науки - в легкости инициации мыслей и дискуссий по затрагиваемым темам на любом уровне и разными специалистами. А последний вывод статьи звучит так: «Несомненно, что некоторые из требований, предъявляемых к науке о почве, трудно выполнить... Но ведь здесь речь идет о советской науке, которая по своему существу обязана быть наукой передовой» (там же, С.97). Пафосно? Да. Но ведь по сути-то верно – в стране с самой большой территорией и огромным разнообразием почв соответствующая наука должна быть прекрасно развита! В потоке публикаций результатов современных почвенных исследований хотелось бы почаще встречать такое неравнодушие, переживание за то, чтобы результаты научных работ шли на пользу производству и на благо страны.

В этом номере журнала есть еще две статьи, посвященные юбилеям почвоведом С.С. Трофимова (ученика К.П. Горшенина) и агрохимика И.Я. Масловой. Юбилеи являются прекрасным поводом для рефлексии по поводу единства пространства и времени: пространства как формы рельефа научных и человеческих взаимоотношений и времени как интегратора этого в единое целое. В номере содержатся также один мини-обзор, касающийся определения органического вещества в почве и две экспериментальные статьи – о микроэлементах в почвах и растениях и о фитотоксичности шлаков.

Надеемся, что опубликованные материалы вызовут интерес читателей и будут полезны!

Директор ИПА СО РАН, д.б.н.
А.И. Сысо

**ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В АГРОЦЕНОЗАХ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ**

© 2018 Ю.А. Азаренко

Адрес: ФГБОУ ВО Омский Государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, Институтская площадь1, г. Омск, 1644008, Россия. E-mail: azarenko.omgau@mail.ru

Представлены данные о содержании микроэлементов Mn, Cu, Zn, Co, B и Mo в почвах разных зон Омского Прииртышья и выращенных на них растениях. Содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn и Co, определенных в 5M HNO₃, в черноземных и солонцовых почвах лесостепи и степи приближается к фоновому валовому содержанию в черноземах юга Западной Сибири. Оно зависит от содержания фракций ила, физической глины и величины емкости катионного обмена. На почвах южной тайги растения испытывают дефицит подвижных B, Mo, Co и Cu. В черноземных и солонцовых почвах лесостепной и степной зон подвижность соединений Cu, Zn и Co низкая (0,5-1,2% кислоторастворимых форм), Mn (1,8-3,3%), B и Mo (5-13%) более высокая. Содержание в почвах подвижного цинка оценивается как низкое, Mn, Cu и Co как низкое и среднее, Mo – среднее и высокое, B – высокое. Уровень содержания микроэлементов в естественных и культурных растениях больше по сравнению с растительностью южной тайги, однако нередко отмечается пониженное содержание Cu, Co, иногда Zn. В солонцах и засоленных почвах содержатся избыточные концентрации подвижного B, что способствует увеличению поступления элемента в пищевые цепи.

Ключевые слова: микроэлементы; почвы; растения; Омское Прииртышье**Цитирование:** Азаренко Ю.А. Эколого-агрохимическая характеристика содержания микроэлементов в системе почва-растение в агроценозах Омского Прииртышья // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.52–66.**ВВЕДЕНИЕ**

Микроэлементы в живых организмах выполняют многочисленные уникальные функции, связанные с обеспечением и регулированием многих биохимических процессов (Битюцкий, 2011). В наземных экосистемах основным источником поступления микроэлементов в пищевые цепи является почва. Растения, связанные с почвой в единую систему, выступают в роли первичных звеньев пищевых цепей. В агроценозах нормальное развитие растений, обеспечивающее их высокую продуктивность и качество, происходит при оптимальном содержании микроэлементов в почвах. В связи с этим микроэлементный состав почв и растений рассматривается как показатель благополучия эколого-биогеохимической обстановки и как фактор плодородия почв. Изучению микроэлементного состава почв и растений посвящено большое количество исследований в России, в том числе, в Сибири, и за рубежом (Добровольский, 2009; Ильин, 1973, 2012; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Сысо, 2007; Adriano, 2001; Kabata-Pendias, 2011; Trace elements ..., 2010; и др.).

Тем не менее, проблема микроэлементов не теряет своей актуальности в разных областях деятельности человека. Это связано с изменением условий окружающей среды, возрастанием антропогенных нагрузок, которые приводят к изменению содержания, соотношения микроэлементов и их геохимических циклов.

Информация о содержании микроэлементов в объектах окружающей среды необходима для решения прикладных задач в агрохимии, экологии, биогеохимии: проведения мониторинга за состоянием антропогенно-преобразованных ландшафтов, совершенствования систем диагностики питания растений и биогеохимического районирования.

С этой целью нами была проведена эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов Mn, Cu, Zn, Co, B и Mo в системе почва-растение агроценозов Омского Прииртышья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 1991-2010 гг. в разных природных зонах Омской области: южной тайге, лесостепи и степи. Содержание микроэлементов исследовали в дерново-подзолистых почвах (по WRB 2014, Albic Retisols Abruptic), серых лесных (Greyzemic Phaeozems), черноземах (Haplic Chernozems), лугово-черноземных, в том числе солонцеватых и солончаковатых, (Gleyic

Chernozems, Gleyic Chernozems Sodic), луговых солонцеватых и солончаковатых почвах (Chernic Gleysols Salic, Sodic), солонцах лугово-черноземных и луговых (Gleyic Solonetz), солончаках луговых (Gleyic Solonchaks) (Мировая реферативная..., 2017). На указанных типах почв закладывали разрезы с отбором образцов по генетическим горизонтам и одновременным взятием растительных проб. Также были проанализированы данные по содержанию элементов в почвах и растениях на реперных участках эколого-агрохимического мониторинга, предоставленные для совместной работы ФГБУ ЦАС «Омский» и ФГБУ САС «Тарская».

Определение содержания микроэлементов в почвах проведено следующими методами: валовое содержание бора (В) после сплавления почвы с содой при температуре 900 °С (Аринушкина, 1961); содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn и Co взаимодействием с 5М HNO₃ при температуре 100 °С (РД 52.18.191-89).

Подвижные формы Mn, Cu, Zn и Co определяли по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50683-94; ГОСТ Р 50685-94; ГОСТ Р 50886-94) с 1н ацетатно-аммонийным буфером (ААБ), рН 4,8. Подвижный Mo определен по Григгу в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50689-94), подвижный В по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО с азометином-Н (ГОСТ Р 50688-94). Содержание подвижных форм Mn, Cu и Co в почвах южной тайги и северной лесостепи в ФГУ САС «Тарская» устанавливали методом Пейве и Ринькиса с использованием индивидуальных экстрагентов (ГОСТ Р 50682-94; ГОСТ 50684-94; ГОСТ 50687-94). В растительных образцах микроэлементы определяли после сухого озоления при температуре 525±25 °С: Cu, Mn, Zn и Co атомно-абсорбционным (ГОСТ 27998-88; ГОСТ 27997-88; ГОСТ 30692-2000) и В – колориметрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для характеристики потенциального запаса микроэлементов в почвах определяли содержание кислоторастворимых прочносвязанных форм металлов, экстрагируемых 5М HNO₃. Оценка возможности использования данного метода для определения валового содержания микроэлементов показала, что он условно пригоден для Co, Cu и Mn и слабо пригоден для Zn (Сиромля, 2016). По нашим данным воздействие на почвы 5М HNO₃ при температуре 100°С позволяет извлечь из них значительное количество микроэлементов, прочно связанных с минеральными и органическими компонентами: Zn, Co и Cu до 90%, Mn до 70% валового содержания. В целях агрохимической оценки количество микроэлементов, извлекаемое 5М HNO₃, может приблизительно характеризовать общий резерв данных элементов в почвах.

Среднее содержание кислоторастворимых форм микроэлементов в почвах лесостепной и степной зон Омской области приближается к их среднему валовому содержанию в черноземных почвах юга Западной Сибири (Pin et al., 2003) (табл. 1).

Таблица 1. Содержание кислоторастворимых форм микроэлементов (мг/кг) в горизонтах Ап, А1 почв лесостепной и степной зон Омской области

Элемент	Черноземы, n = 12-26			Лугово-черноземные, n=20-38			Солонцы, n = 6-12		
	lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%
Mn	226-950	508±38,3	34,5	350-1100	608±24,6	24,3	485-718	618±48,6	15,7
Cu	12,0-23,0	19,1±0,8	19,9	5,4-25,4	20,3±0,8	22,1	17,4-23,8	21,1±1,5	14,5
Zn	27,4-63,3	50,7±2,7	23,9	20,1-69,4	53,7±1,9	21,2	43,5-64,6	55,4±3,4	15,8
Co	5,5-15,8	11,2±0,6	24,0	9,2-14,0	12,3±0,2	10,5	11,8-14,4	13,2±0,5	8,1

Примечание:

В табл. 1 и следующих таблицах n – количество разрезов; lim – диапазон значений; S±s_x – среднее арифметическое и его ошибка, V - коэффициент варьирования.

Валовое содержание В в почвах разных типов изменялось от низкого в дерново-подзолистых и серых лесных почвах до среднего и высокого в черноземах и лугово-черноземных почвах (табл. 2).

Таблица 2. Содержание валового бора (мг/кг) в почвах Омской области

Почвы	Ап, А, А1		А2, А1А2		В, Вк		Ск	
	lim	S±s _x	lim	S±s _x	lim	S±s _x	lim	S±s _x
Дерново-подзолистые, n = 2	20,0- 21,0	20,5±0,5	14,1- 12,6	13,3±0,8	33,0- 35,0	34,0±1,0	41,4- 44,6	43,0±1,6
Серые лесные, n = 2	19,5- 20,0	19,8±0,3	17,1- 19,9	18,5±1,4	21,5- 17,5	19,5±2,0	33,0- 35,0	34,0±1,0
Черноземы, лугово-черноземные, n = 5	34,1- 50,0	43,5±4,8	-	-	36,2- 42,1	38,8±1,1	21,2- 37,7	28,0±5,0
Лугово-черноземные и луговые солонцеватые, n = 5-6	51,6- 56,6	55,7±1,7	-	-	57,3- 62,9	58,3±1,7	52,2- 64,2	58,2±6,0
Лугово-черноземные и луговые солончаковатые, n = 3-7	77,5- 94,4	85,9±8,4	-	-	59,6- 57,4	58,5±1,1	57,9- 54,1	56,0±1,9
Солончаки, n = 3	63,4- 97,2	80,3±16,9	-	-	53,8- 61,0	57,3±3,5	49,7- 51,8	50,8±1,1
Солонцы, n = 10-18	50,4- 126,1	69,4±7,5	-	-	50,4- 130,3	78,1±5,4	52,2- 118,3	73,3±6,7

Распределение элемента по профилям разных типов почв было неодинаковым в зависимости от их генезиса и гранулометрического состава. В супесчаных дерново-подзолистых почвах верхняя часть профиля, включающая горизонты А1 и А2, была обеднена бором. Минимальное содержание элемента наблюдалось в элювиальном горизонте А2. В иллювиальных горизонтах В легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава и в тяжелосуглинистых почвообразующих породах (горизонт Ск) содержание элемента увеличивалось в 2-2,5 раза. В серых лесных тяжелосуглинистых почвах распределение бора в верхней и срединной частях профиля было равномерным и увеличивалось в глинистых горизонтах Ск. В среднесуглинистых и тяжелосуглинистых черноземах и лугово-черноземных почвах концентрации элемента равномерно убывали вниз по почвенному профилю.

Содержание элемента в солонцах и засоленных почвах существенно превышало его уровень в почвах зонального ряда. В солонцеватых лугово-черноземных и луговых почвах уровень содержания бора был выше по сравнению с обычными, распределение по профилю равномерное. В профиле солончаковатых лугово-черноземных и луговых почв, солончаков максимальные концентрации элемента были сосредоточены в верхней части и совпадали с аккумуляцией легкорастворимых солей. В солонцах более высокое содержание бора находилось в иллювиальных и горизонтах почвообразующих пород.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, формирующихся в разных природных зонах, было неодинаковым. Проведенные исследования показали, что в кислых дерново-подзолистых почвах южной тайги находятся низкие концентрации подвижных В, Мо и Со. При этом содержание подвижного Мп в них было средним, концентрации Си варьировали от низкого до высокого уровней. Серые лесные почвы северной лесостепи отличались более высоким содержанием Си, а черноземы выщелоченные – Си и В (табл. 3).

На долю подвижных Си, Zn, Со приходилось 0,5-1,2, Мп – 1,8-3,3% содержания их кислоторастворимых форм. Подвижность Мо и В в почвах лесостепной и степной зон значительно выше и составляет в среднем 5-13% валового содержания элементов. Наиболее высокие их концентрации находятся в солонцах. Количество подвижного В в слое 0-20 см изменялось от 4 до 24 мг/кг, достигая и превышая порог борного засоления, равный 5,0 мг/кг (Алиханова, 1980).

Сравнительная оценка содержания подвижных форм микроэлементов в разных типах почв области показывает, что наиболее высокие концентрации подвижных Си и Zn, определяемых в ААБ, находятся в ненасыщенных основаниями дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а также в черноземах выщелоченных и значительно снижаются в черноземах обыкновенных, лугово-черноземных и солонцовых почвах. Количество подвижных соединений В и Мо в этих типах почв, напротив, более высокое (рис. 1, 2).

Таблица 3. Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг) в горизонтах Ап, А1 почв подзоны южной тайги и северной лесостепи Омской области (по данным ФГБУ САС «Тарская»), n = 5

Почвы	pH _{сол}	Гумус, %	Mn	Cu	Zn*	Co	Mo	B
Дерново-подзолистые	5,0-5,1	1,0-5,9	32-51	0,95-4,5	1,6-2,2	0,38-1,1	0,08-0,16	0,18-0,27
Серые лесные	5,2-5,6	2,3-5,4	40-77	3,7-6,2	1,1-3,5	0,5-1,45	0,09-0,12	0,24-0,42
Черноземы выщелоченные	5,4-5,9	6,0-6,1	45-51	3,6-4,0	2,1-2,4	0,85-1,25	0,10-0,14	1,15-1,27
Оценка содержания**								
Низкое			< 30	< 1,5	< 2,0	< 1,0	< 0,1	< 0,3
Среднее			30-70	1,5-3,3	2,1-5,0	1,1-2,2	0,1-0,2	0,3-0,7
Высокое			> 70	> 3,3	> 5,0	> 2,2	> 0,2	> 0,7

Примечание:

* - вытяжка ААБ, pH 4,8;

** - оценка по шкале Пейве и Ринькиса, для Zn по Крупскому и Александровой.

В почвах лесостепной и степной зон содержание подвижных форм Mn, Cu, Zn и Co определяли с использованием 1н ААБ, pH 4,8 (табл. 4).

Таблица 4. Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг) в почвах лесостепной и степной зон Омской области

Черноземы, горизонт Ап			Лугово-черноземные почвы, горизонт Ап			Солонцы, горизонт А1			Оценка содержания**	
lim	S±s _x	V, %	lim	S±s _x	V, %	lim	S±s _x	V, %		
Mn										
4,9-44,7	16,7±3,7 3,3	82,6	3,7-37,6	11,0±2,0 1,8	84,5	3,4-55,3	15,7±1,5 2,9	70,2	низкое	< 5
									среднее	5-10
									высокое	> 10
Cu										
0,08-0,18	0,12±0,01 0,6	22,5	0,05-0,15	0,11±0,004 0,5	20,9	0,1-0,12	0,17±0,02 0,8	23,2	низкое	< 0,1
									среднее	0,1-0,2
									высокое	> 0,2
Zn										
0,2-0,5	0,33±0,01 0,6	20,6	0,14-0,72	0,34±0,02 0,6	29,4	0,3-0,88	0,40±0,08 0,8	43,1	низкое	< 1,0
									среднее	1,0-2,0
									высокое	> 2,0
Co										
0,08-0,22	0,13±0,01 1,2	30,8	0,07-0,25	0,12±0,01 1,0	37,5	0,11-0,13	0,11±0,01 0,9	13,9	низкое	< 0,07
									среднее	0,07-0,15
									высокое	> 0,15
Mo										
0,11-0,33	0,17±0,02 10,6	34,1	0,06-0,31	0,20±0,06 12,5	30,0	0,18-0,27	0,27±0,04 11,3	29,7	низкое	< 0,10
									среднее	0,10-0,20
									высокое	> 0,20
B										
1,5-3,1	2,24±0,22 5,1	27,3	2,1-3,9	2,9±0,12 6,7	15,2	4,0-23,7	9,5±1,3 12,9	60,1	низкое	< 0,3
									среднее	0,3-0,7
									высокое	> 0,7

Примечание:

* - над чертой среднее содержание и ошибка среднего, под чертой среднее значение доли подвижной формы от кислоторастворимой, для B и Mo от валового содержания;

** - оценка содержания для культур 1 группы с невысоким выносом микроэлементов (Методические рекомендации ..., 1989).

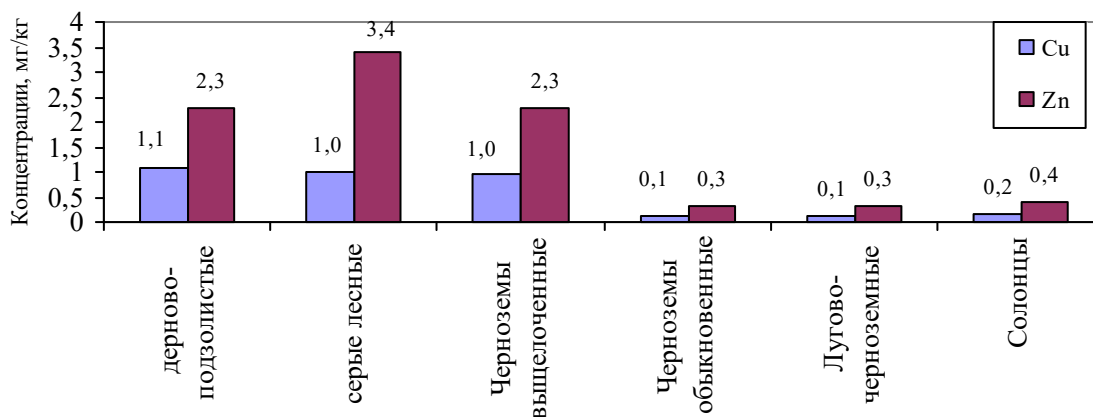


Рисунок 1. Содержание подвижных Cu и Zn (мг/кг) в 1н ААБ в гумусовых горизонтах почв разных природных зон Омского Прииртышья (n = 5-12)

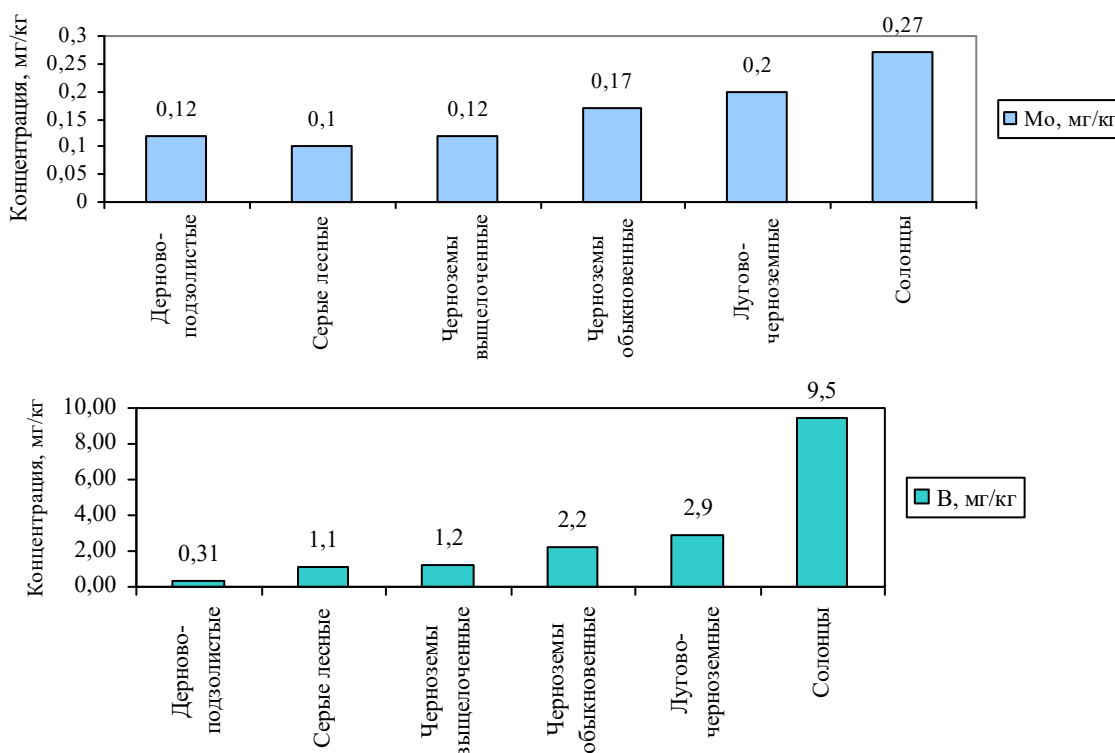


Рисунок 2. Содержание подвижных Mo и B (мг/кг) в гумусовых горизонтах почв разных природных зон Омского Прииртышья (n = 5-12)

Для выявления факторов, влияющих на концентрацию микроэлементов в верхнем слое 0-20 см почв был проведен корреляционный анализ их взаимосвязей с содержанием ила, физической глины, гумуса, показателями емкости катионного обмена (ЕКО) и рН. Установлена существенная прямая зависимость средней силы между содержанием всех микроэлементов, илом и физической глиной. Сильная связь для Cu и средняя для Mn, Zn и Co наблюдалась с величиной ЕКО. Зависимость от содержания гумуса в слое 0-20 см установлена только для Cu (табл. 5).

Концентрации подвижных форм микроэлементов в слое 0-20 см почв из разных зон (дерново-подзолистых, серых лесных, черноземов выщелоченных, обыкновенных, лугово-черноземных) зависели от величины рН и содержания гумуса. Для B и Mo с рН и гумусом установлена прямая связь, для Cu и Zn – обратная, при этом зависимость между содержанием Cu и гумуса была несущественной (табл. 6).

Таблица 5. Корреляционная зависимость содержания кислоторастворимых (5M HNO₃) Mn, Cu, Zn, Co, валового В в слое 0-20 см почв лесостепи и степи от их свойств, n = 33-39

Показатель	Mn	Cu	Zn	Co	B**
Ил (< 0,001 мм), %	0,38±0,16	0,65±0,13	0,68±0,12	0,40±0,15	0,67±0,08
Физическая глина (< 0,01 мм), %	0,40±0,16	0,44±0,16	0,47±0,16	0,39±0,16	-
ЕКО, ммоль/100 г	0,35±0,16	0,79±0,11	0,58±0,14	0,55±0,15	-
Гумус, %	-0,15±0,21*	0,40±0,15	0,30±0,16*	0,24±0,16*	-0,46±0,21*

Примечание:

* - связь несущественная;

** - коэффициенты корреляции рассчитаны для генетических горизонтов по профилям почв: с илом n = 48, с гумусом n = 15: прочерк - отсутствие данных.

Таблица 6. Корреляционная зависимость содержания подвижных форм микроэлементов в слое 0-20 см совокупности почв разных зон от их свойств, n = 33

Показатель	Cu	Zn	B	Mo
pH	- 0,71±0,13	- 0,69±0,13	0,49±0,16	0,41±0,16
Гумус, %	- 0,31±0,17*	-0,38±0,17	0,42±0,16	0,46±0,16

Примечание: Cu и Zn в вытяжке ААБ pH 4,8; * - связь несущественная

Результаты определения содержания микроэлементов в растениях показали, что в растительности природных травостоев, а также в культурных растениях агроценозов южной тайги и северной лесостепи отмечается дефицит Cu, Mo, Zn, недостаток Co в мятликовых растениях. Встречается недостаточное содержание Mn в растениях (табл. 7).

Таблица 7. Среднее содержание микроэлементов в надземной массе растений южной тайги и северной лесостепи Омской области, мг/кг абсолютно сухой массы (по данным ФГБУ САС «Тарская»), n = 3-5

Растение	Mn	Cu	Zn	Co	Mo	B
Дерново-подзолистые почвы						
Клевер	18,6	2,9	22,8	0,39	0,05	5,1
Травы	29,5	2,3	15,0	0,12	0,09	1,28
Овес, зерно	-	2,1	22,6	-	-	-
солома	-	2,2	29,0	-	-	-
Серые лесные						
Травы	21,4	2,4	18,8	0,12	0,10	1,16
Пшеница, зерно	-	2,2	16,2	-	-	-
солома	-	2,4	20,4	-	-	-
Черноземы выщелоченные						
Овес, зерно	-	2,5	21,4	-	-	-
солома	-	2,9	26,9	-	-	-
Пшеница, зерно	-	3,4	20,0	-	-	-
солома	-	9,8	21,4	-	-	-
Оценка содержания*						
Недостаточное	< 50 <20	<10 <3-5	< 30 <20-30	<0,3 <0,1-0,25	<2,0 <0,2	<1,0 -
Норма	50-100 20-60	10-20 3-12	30-60 30-60	0,3-1,0 0,25-1,0	2,0-3,0 0,2-2,5	1,0-30 -
Избыточное	>100 >60-70	>20 >20-40	> 60 >60-100	>1,0 >1,0	>3,0 >2,5-3,0	>30 >60

Примечание:

Ботанический состав естественных травостоев представлен растениями семейства мятликовых (*Poaceae*): кострцом безостым (*Bromopsis inermis*), мятликом луговым (*Poa pratensis*); * - над чертой по В.Н. Башкину и др. (1993), под чертой по В.В. Ковальскому (1978).

Содержание микроэлементов в естественной мятликовой растительности и культурных растениях агроценозов на почвах лесостепной и степной зон, в целом, было выше по сравнению с таежной зоной, что связано с увеличением общих запасов микроэлементов в почвах (табл. 8, 9). В то же время следует обратить внимание на встречающийся дефицит Cu и Co, а также пониженный уровень Zn в растениях природных травостоев (табл. 8).

Теоретический и практический интерес представляет вопрос о доступности для растений соединений микроэлементов на разных почвах. Содержание меди и цинка в зерне пшеницы и овса на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и черноземах выщелоченных было ниже, чем в зерне культур, выращенных на черноземах южной лесостепи и степи (табл. 7,9).

Таблица 8. Содержание микроэлементов в мятликовых растениях природных травостоев на почвах лесостепной и степной зон Омской области, мг/кг воздушно сухой массы, n = 5-7

Зона, почвы	Mn	Cu	Zn	Co	B
Центральная лесостепь, лугово-черноземные, луговые, солонцы	16-60	6,7-15,7	13,6-71,4	0,13-0,24	0,4-6,9
Южная лесостепь, лугово-черноземная, солонцы	17-67	1,8-19,2	10-44	0,19-0,32	1,5-10,5
Южная лесостепь, черноземно-луговая солончаковатая	36-41	5,2-9,6	50-80	0,20-0,23	7,7-9,2
Степная зона, чернозем обыкновенный	19-30	7,1-12,4	18-23	0,24-0,28	6,5-7,2

Примечание:

Ботанический состав растений представлен пыреем бескорневищным (*Elimus trachicaulon*), кострцом безостым (*Bromopsis inermis*), овсяницей ложноовечьей (*Festuca pseudovina*), растения отбирали в фазе колошения-цветения.

Таблица 9. Среднее содержание микроэлементов (мг/кг абсолютно сухой массы) в зерновых культурах на черноземных почвах Омской области (данные ФГБУ ЦАС «Омский»)

Культура	Mn	Cu	Zn
Пшеница, зерно солома, n = 13	44,6±3,1	4,9±0,2	33,9±1,5
	45,0±5,2	2,2±0,7	10,0±1,3
Ячмень, зерно солома, n = 9	37,4±4,2	5,0±0,3	28,6±2,8
	57,0±5,2	6,0±1,4	12,9±2,9
Овес, зерно солома, n = 3	55,7±0,7	4,1±0,1	21,2±0,7
	68,6±1,3	4,4±0,5	16,2±3,9

При этом не наблюдалось определенной зависимости между содержанием микроэлементов в почвах и растениях. Так, сравнение данных по содержанию меди в зерне и соломе овса на разных почвах показало, что с уменьшением концентрации подвижной формы элемента в почвах, определенной в ААБ, содержание его в растительной массе увеличивалось. Для цинка отмечалась прямая зависимость между содержанием его в почве и соломе овса. Уровень концентрации элемента в зерне культуры на разных почвах был одинаковым (рис. 3).

Содержание В в растениях, напротив, прямо пропорционально зависело от содержания его подвижных форм в почвах. С увеличением концентрации подвижного В в почве возрастало содержание элемента в органах культурных растений (рис. 4).

Результаты исследований показали, что концентрации кислоторастворимых прочносвязанных форм Mn, Cu, Zn, Co (табл. 1) в почвах лесостепи и степи приближались к величинам ориентировочного фонового валового содержания микроэлементов в черноземах юга Западной Сибири: 8-12 мг/кг для Co, 20-30 мг/кг для Cu, 550-800 мг/кг для Mn, 53-75 мг/кг для Zn (Pin et al., 2003).

Установлено, что основными факторами, влияющими на уровень концентраций микроэлементов в гумусовых горизонтах черноземов, лугово-черноземных почв и солонцов лесостепной и степной зон Омской области, являются содержание ила, физической глины и величина ЕКО. Корреляционная зависимость средней силы с содержанием ила и физической глины установлены для Cu и Zn ($r=0,65-0,68$ и $0,44-0,47$ соответственно). Зависимость концентраций микроэлементов от количества илистой фракции обусловлена процессами сорбции Cu и Zn на поверхности высокодисперсных частиц твердой фазы. Выборка проанализированных почв в основном была представлена почвами тяжелого гранулометрического состава, что определило высокий уровень концентраций в них микроэлементов.

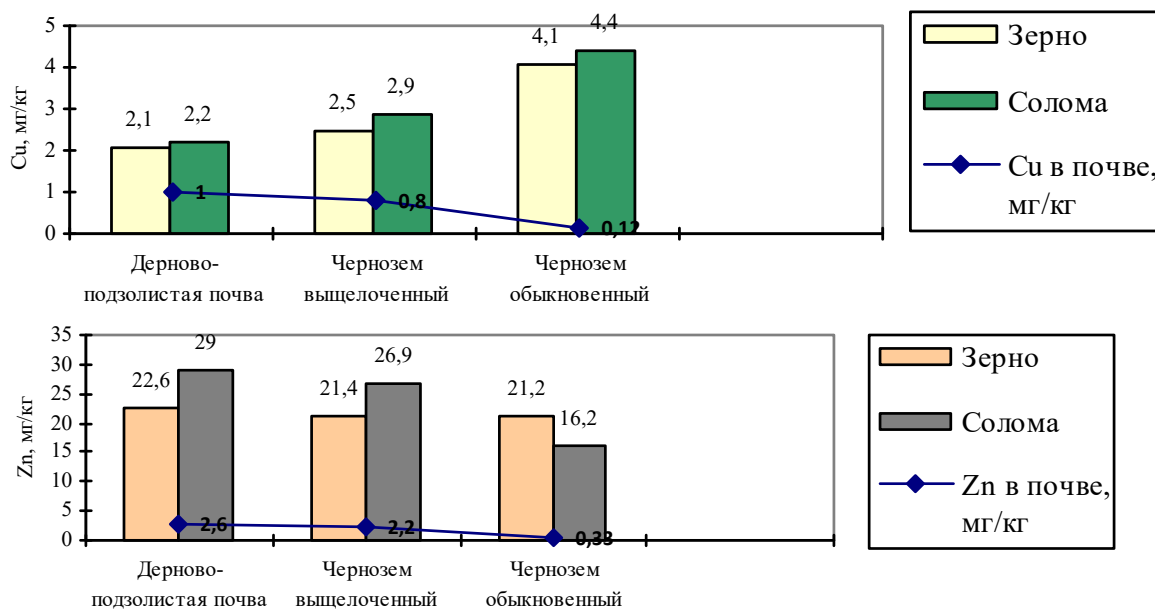


Рисунок 3. Содержание Cu и Zn в зерне и соломе овса (мг/кг абсолютно сухой массы) на разных типах почв

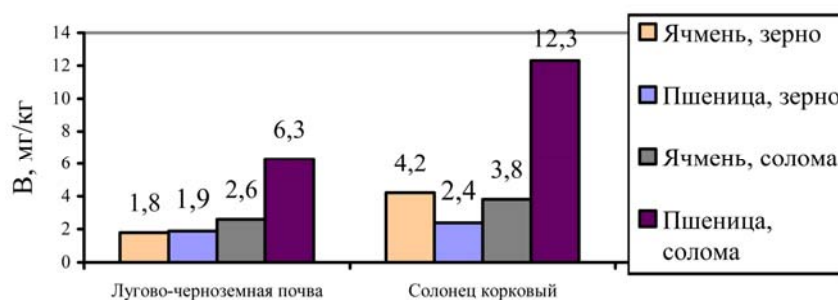


Рисунок 4. Содержание В (мг/кг воздушно-сухой массы) в ячмене и пшенице на лугово-черноземной солонцеватой почве и на солонце корковом (подвижный В 4,5 и 10,5 мг/кг соответственно), АО «Измайловский», Калачинский район

ОБСУЖДЕНИЕ

Связь концентраций Mn и Co с количеством ила и физической глины была значительно слабее ($r = 0,38-0,40$). Это может быть обусловлено тем, что оксиды марганца не ассоциируются с алюмосиликатами, а находятся в составе крупных песчано-пылеватых фракций (Vodyanitskii, 2009).

С величиной ЕКО коэффициенты корреляции составляли для Cu 0,79, Co и Zn – 0,55-0,58, для Mn 0,35. Гумус оказывал существенное влияние только на содержание Cu ($r = 0,40$).

Концентрации валового В в почвах также определялись содержанием илистой фракции ($r = 0,67$), что объясняется вхождением В в состав глинистых минералов. Содержание элемента также существенно зависело от характера процессов почвообразования. Так, валовое содержание бора в верхних горизонтах солонцов, солонцеватых и солончаковатых почв (51,6-126 мг/кг) существенно превышали уровень его содержания в черноземах (34-50 мг/кг) (табл. 2). Высокая аккумуляция В в солонцовых и засоленных почвах является результатом проявления геохимических особенностей элемента в природных климатических и геолого-геоморфологических условиях. Прежде всего, она связана с участием элемента в процессах гидрогенной миграции. Бор относится к легкоподвижным водным мигрантам, образующим в почвах и породах ассоциации с легкорастворимыми солями. В целом, обеспеченность почв В возрастает при продвижении с севера на юг территории Омской области, что связано с изменением водного режима почв, уменьшением степени промывания почвенного профиля, усилением развития гидрогенно-аккумулятивных процессов.

В процессе миграции микроэлементов по почвенному профилю и питанию растений главная роль принадлежит их подвижным формам. Проведенная оценка согласно общепринятым

градациям показала, что для почв южной тайги Омского Прииртышья характерны низкие концентрации подвижных В, Мо и Со. Дефицит этих элементов характерен в целом для почв таежных ландшафтов, его развитию способствуют кислая реакция среды, промывной тип водного режима, слабая интенсивность биогенно-аккумулятивных процессов (Кабата-Пендиас, Пендиас 1989; Ильин, 1973). Концентрации подвижного Мп в дерново-подзолистых почвах оцениваются как средние. Известно, что в кислой среде подвижность соединений марганца возрастает. Содержание Си в исследованных дерново-подзолистых почвах варьировало от низкого до высокого уровней. Исследования, проведенные Агеевым В.А. (1980), показали прямую зависимость содержания микроэлемента от гранулометрического состава и степени окультуренности дерново-подзолистых почв. В полевых опытах потребность пшеницы в меди проявлялась при содержании ее менее 4 мг/кг. В серых лесных почвах и черноземах выщелоченных лесостепи содержание подвижной Си было выше, чем в дерново-подзолистых почвах. Черноземы выщелоченные отличались от дерново-подзолистых и серых лесных почв существенно более высоким содержанием подвижного В (табл. 3).

В почвах лесостепи и степи подвижность соединений микроэлементов-металлов невысокая (в среднем менее 1%, для Мп – 1,8-3,3%). С точки зрения обеспеченности сельскохозяйственных культур 1 группы микроэлементами обнаруженные концентрации Zn в черноземных и солонцовых почвах могут быть оценены как низкие, Си, Со как низкие и средние, Мп и Мо – средние и высокие (табл. 4). Однако культуры 2 группы с повышенным выносом микроэлементов, включающей овощные и плодовые культуры, корнеплоды, уже будут испытывать их недостаток. Содержание подвижного бора в черноземных почвах высокое.

Следует отметить, что применяемые ранее в качестве индивидуальных экстрагентов 1н HCl для определения Си и 1н HNO₃ для определения Со извлекали из черноземных почв более высокие концентрации элементов: 4,0-4,4 и 0,85-1,25 мг/кг соответственно. Это позволило сделать вывод о достаточной обеспеченности зерновых культур медью на черноземах Омской области (Орлова, Пыхтарева, 2007).

Шкала обеспеченности растений микроэлементами должна уточняться в полевых опытах, проводимых в условиях конкретного региона. Результаты опытов, проведенных в Омской области, показывают, что на черноземных почвах на фоне достаточной обеспеченности азотом, фосфором и калием проявляется потребность культур во всех микроэлементах в зависимости от их биологических особенностей. Так, применение цинковых удобрений на черноземных почвах Омского Прииртышья было эффективным при выращивании кукурузы, пшеницы, семян овощных культур. Положительное влияние Мп и Си проявлялась при возделывании суданской травы и овощных культур, Со и Мо при выращивании бобовых: люцерны, гороха. Несмотря на высокое содержание подвижного В в черноземных почвах индикаторные культуры (свекла, люцерна, подсолнечник, капуста) положительно реагировали на применение борных удобрений (Орлова, Пыхтарева, 2007).

В солонцеватых и солончаковатых почвах и солонцах содержание подвижного В очень высокое, достигающее и превышающее порог борного засоления (5 мг/кг). Развитие его в почвах юга Западной Сибири связано с общими процессами галогенеза почвенного покрова. Аккумуляция подвижных боратов в профилях почв связана с комплексом факторов природной среды: высоким содержанием элемента в почвообразующих породах и их засолением, неустойчивым и недостаточным атмосферным увлажнением, способствующей слабому выщелачиванию соединений элемента из почв, незначительной дренированностью территории (Ильин, 1973). Как показали проведенные нами опыты с растениями, концентрации подвижного В, находящиеся в солонцах и засоленных почвах, являются избыточными для растений, в связи с чем необходимо учитывать степень их боростойчивости (Азаренко, 2013).

Уровень концентраций подвижных форм микроэлементов в почвах Омского Прииртышья определялся разными факторами. Распределение подвижных Си и Zn, экстрагируемых ААБ, в почвах контролирует величина рН, с которой установлена обратная зависимость концентраций элементов ($r = -0,69-0,71$). Она объясняется тем, что в кислой среде адсорбция катионов этих элементов ослаблена за счет конкуренции с ионами Н⁺ и Al³⁺, что и являлось причиной более высокого содержания подвижных соединений микроэлементов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Концентрации подвижных Мо и В в почвах, напротив, прямо пропорционально зависели от величины рН ($r = 0,41-0,49$), а также от содержания гумуса ($r = 0,42-0,46$). Подвижность этих элементов усиливается в нейтральной и щелочной среде. Среди зональных почв более высокий

уровень элементов находился в черноземах обыкновенных и лугово-черноземных почвах. Максимальные концентрации Мо находились в солонцах.

Важной экологической характеристикой является содержание микроэлементов в растениях, связанных с почвой в единую систему. Исследования свидетельствуют о том, что содержание микроэлементов в растениях зависит, как от генетического, так и от экологического факторов.

В биомассе естественной мятликовой растительности, произрастающей на почвах южной тайги в условиях дефицита микроэлементов в почвах, наблюдается низкое содержание Cu, Co, Mo и B. Количество Mn и Zn в них также невысокое. Следовательно, низкие концентрации микроэлементов в почвах и растениях являются неблагоприятным экологическим фактором развития живых организмов в ландшафтах южной тайги.

В черноземных и солонцовых почвах общие запасы микроэлементов Cu, Co и Zn возрастают при небольшой доле в их составе подвижных соединений. В естественной растительности лесостепных и степных ландшафтов концентрации всех микроэлементов выше, чем в растениях тайги. В культурных растениях уровень содержания элементов также был более высоким. В растениях пшеницы, ячменя и овса на черноземных почвах отмечается среднее содержание Mn (в зерне 44,6, в соломе 45 мг/кг), Zn (соответственно 33,9 и 10 мг/кг) и Cu (4,9 и 2,2 мг/кг). Значительно больше Mn (65-184 мг/кг) и Cu (6-10,2 мг/кг) содержится в зеленой массе коостреца и люцерны.

Сравнение с результатами, полученными в разных регионах, показывает, что содержание микроэлементов Mn, Zn, Cu в зерне пшеницы Омского Прииртышья близкое к величине их концентраций в зерне культуры, выращенной в Новосибирской области (Ильин, Сысо, 2001). В Центральном Черноземье пшеница отличалась более низкими концентрациями в зерне Mn (21,8 мг/кг) и несколько более высоким содержанием Cu (5,75 мг/кг) (Протасова, Щербаков, 2003). Для Забайкалья отмечается пониженное содержание в зерне культуры Cu: 2,8 мг/кг (Кашин, Убугунов, 2012). Варьирование концентраций микроэлементов в растениях разных регионов объясняется почвенно-климатическими различиями, разным содержанием элементов в почвах, возможно, и сортовыми различиями культур.

Большое значение имеет установление степени доступности для растений соединений микроэлементов в почвах. Анализ взаимосвязей содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и растениях указывает на частое отсутствие прямой зависимости между этими показателями.

Так, содержание Cu и Zn в зерне пшеницы и овса, выращенных на черноземах обыкновенных было выше по сравнению с данными культурами на черноземах выщелоченных, серых лесных и дерново-подзолистых почвах с более высоким уровнем подвижных форм элементов, определяемых в ААБ (рис. 3).

Между концентрациями Cu и Zn в зерне и их подвижных форм в почвах наблюдалась отрицательная связь ($r=-0,53-0,59$). Более значимая зависимость была обнаружена между содержанием элементов в растениях и величиной pH ($r=0,58-0,78$). В то же время для Zn обнаруживалась прямая зависимость между концентрациями его в почве и в соломе пшеницы ($r=0,62$). С одной стороны, эти данные свидетельствуют об относительном постоянстве содержания микроэлементов в генеративных органах, что отмечается многими исследователями. С другой стороны, экстракция из почв соединений микроэлементов ААБ, вероятно, не в полной мере отражает степень доступности их растениям. Как указывалось выше, на почвах тайги и северной лесостепи с относительно более высоким уровнем подвижных Cu и Zn содержание этих элементов в растениях было ниже, чем на почвах лесостепи и степи.

Значительную экологическую проблему для агроценозов на солонцовых и засоленных почвах представляют избыточные концентрации в них подвижного В. Повышенное поступление его нарушает баланс химических элементов в растениях и снижает их урожайность, а избыток В в растительном корме вызывает заболевания животных.

Содержание В в первую очередь определяется биологическими особенностями вида растения. Наиболее низкие его концентрации находятся в растениях семейства мятликовых (0,4-10,5 мг/кг), более высокие в растениях семейств бобовые, сложноцветные, капустные (20-60 мг/кг). В то же время отмечалась положительная зависимость между концентрациями подвижного В в почвах и содержанием его как в естественной растительности, так и в культурных сельскохозяйственных растениях. На солонцах с очень высоким содержанием В концентрации его в надземной массе естественных и культурных растений в 1,5-3,0 раза превышали их уровень в растениях на зональных почвах (рис. 4).

Отсутствие значений ПДК В в корме затрудняет оценку его содержания в растениях. Согласно данным В.В. Ковальского (1974), избыточным является содержание элемента в корме более 60 мг/кг,

В.Н. Башкин и др. (1993) приводят данные об избытке элемента при концентрации более 30 мг/кг. В наших исследованиях наиболее высокие концентрации В в надземной массе мятликовых культур (30–46 мг/кг) наблюдались на солонцах в растениях овса в фазы кушения-трубкования. В фазе колошения-цветения концентрации элемента в растениях были значительно ниже избыточного уровня.

Снижению доступности бора для растений на солонцах способствует наличие в почве ионов легкорастворимых солей. В вегетационных опытах с ячменем и викой было показано, что даже при сильной степени борного засоления почвы легкорастворимые соли существенно снижали поступление микроэлемента в надземную массу растений (Азаренко, 2011). Кроме того, проявляется эффект «разбавления» концентраций В в биомассе взрослых растений. Несмотря на отсутствие явного превышения ориентировочных нормальных уровней В в растительности на солонцах, по нашему мнению, нельзя делать вывод о полном благополучии биогеохимической обстановки на почвах с борным засолением. Так, например, исследования Грачева А.Д. (1971) показали, что токсичность В усиливается при повышенном содержании сульфатов натрия и соды в почве, что характерно для солонцов юга Западной Сибири. Поэтому необходимо контролировать содержание В в растениях на солонцах и других почвах с избыточным содержанием элемента.

ВЫВОДЫ

1. Неоднородные почвенно-геохимические условия на территории Омского Прииртышья привели к значительному варьированию содержания микроэлементов в почвах и растениях в зависимости от зоны и свойств почв. Эколого-агрохимическая обстановка в агроценозах южной тайги характеризуется дефицитом в почвах для растений подвижных В, Мо, Со, часто Си. В растительности природных травостоев и культурных растениях (пшеница, овес) отмечалось низкое содержание Си, Мо и Zn, в мятликовых растениях – Со. Встречается недостаточное содержание Mn в растениях.

2. Содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn, Co в черноземах, лугово-черноземных почвах и солонцах лесостепной и степной зон было близким к их фоновому валовому содержанию в черноземах юга Западной Сибири. Валовое количество В минимальное в дерново-подзолистых и серых лесных, существенно выше в черноземных почвах. В почвах солонцового и засоленного рядов содержание элемента превышает в 1,5–2,5 раза его уровень в черноземах. Содержание микроэлементов в гумусовых горизонтах почв зависело от содержания фракций ила, физической глины, величина ЕКО. На уровень концентраций подвижных форм микроэлементов в почвах разных типов оказывали влияние реакция среды и степень гумусированности: для Си и Zn установлена обратная зависимость с рН, для Мо и В прямая зависимость с рН и содержанием гумуса.

3. Доля подвижных соединений Cu, Zn, Co, переходящих в ААБ с рН 4,8, в гумусовых горизонтах черноземных и солонцовых почв составляла менее 1%, Mn – 1,8–3,3%. На подвижные формы В и Мо приходилось 5–13% их валового содержания. Среди микроэлементов на этих почвах в первом минимуме находится Zn. Обеспеченность растений Си и Со низкая и средняя, Mn и Мо средняя и высокая, В высокая. В солонцах концентрации подвижного бора достигают и превышают порог борного засоления и при выращивании сельскохозяйственных культур рекомендуется учитывать их степень устойчивости к избытку элемента.

4. Содержание микроэлементов в естественной растительности и культурных растениях на почвах лесостепной и степной зон более высокое по сравнению с растительностью южной тайги, что, вероятно, связано с увеличением общих запасов микроэлементов в почвах. В растительности природных травостоев отмечается пониженный уровень Си, Со, иногда Zn. На почвах солонцового и засоленного рядов создаются условия для повышенного поступления В в пищевые цепи, здесь возможны проявления эндемических заболеваний животных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам и директору ФГБУ ЦАС «Омский», доктору сельскохозяйственных наук В.М. Красницкому за представление материалов для работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.А. Содержание меди и молибдена в дерново-подзолистых почвах Омского Прииртышья и отзывчивость яровой пшеницы на микроудобрения: автореф. дис. канд. с.-х. наук. Омск. 1980. 16 с.
2. Азаренко Ю.А. Влияние факторов почвенной среды на устойчивость растений к бору // *Агрохимия*. 2011. № 8. С. 67-74.
3. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири. Омск: Вариант-Омск, 2013. 232 с.
4. Алиханова О. И. Токсическое действие бора на растения // *Агрохимия*. 1980. № 7. С. 98-102.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1961. 491 с.
6. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб: Изд-во СПб ун-та. 2011. 368 с.
7. Башкин В.Н., Евстафьева Е.С., Снакин В.В., Алябина И.О., Антипова А.В., Кречетов П.П., Кузовникова Т.А., Мельченко В.Е., Степичев А.В. Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука. 1993. 304 с.
8. ГОСТ 27997-88. Корма растительные. Методы определения марганца. Москва: Издательство стандартов. 1988. 7 с.
9. ГОСТ 27998-88. Корма растительные. Методы определения железа. Москва: Издательство стандартов. 1988. 10 с.
10. ГОСТ Р 50682-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 14 с.
11. ГОСТ Р 50683-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 19 с.
12. ГОСТ 50684-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 14 с.
13. ГОСТ 50687-94. Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 16 с.
14. ГОСТ Р 50685-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 12 с.
15. ГОСТ Р 50886-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 16 с.
16. ГОСТ Р 50688-94. Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 16 с.
17. ГОСТ Р 50689-94. Почвы. Определение подвижных соединений молибдена по методу Григга в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 14 с.
18. ГОСТ 30692-2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. Минск. 2000. 14 с.
19. Грачев А. Д. Влияние микроэлементов на обмен веществ у овец в условиях Кулундинской степи // *Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока: Докл. III Сибир. конф., 1-4 июля 1969 г., г. Омск.-Улан-Удэ, 1971. С. 355-357.*
20. Добровольский В.В. Избранные труды. Т.2. Геохимия почв и ландшафтов. М.: Науч. мир. 2009. 758 с.
21. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов Mn, Cu, Mo, B в южной части Западной Сибири. Новосибирск. Изд-во: Наука. Сибирское отделение. 1973. 390 с.
22. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2012. 220 с.
23. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
24. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. 439 с.
25. Кашин В.К., Убузунов Л.Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье // *Агрохимия*. 2012. № 4. С. 68-76.
26. Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука. 1974. 297 с.
27. Методические рекомендации по определению нормативов соотношений макро- и микроэлементов в растениях по системе ИСОД. М. 1989. 80 с.
28. *Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Испр. и доп. версия 2015. Доклады о мировых почвенных ресурсах. № 106. ФАО и Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2017. 203 с.*
29. Орлова Э.Д., Пыктарева Е.Г. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ. 2007. 76 с.
30. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
31. Сиромля Т.И. О применении 5М HNO₃ при исследовании элементного химического состава почв юга Западной Сибири // *III Ковалевские молодежные чтения «Почва – ресурс экологической и продовольственной безопасности»: материалы Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 26-30 сентября 2016 г.). Томск, 2016. С. 284-290.*

32. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2007. 277 с.
33. Adriano D.C. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 2001. 868 p.
34. Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia // *Eurasian Soil Science*. 2003. V. 36. № 5. P. 494-500.
35. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 548 p.
36. Trace elements in soils. Editor: Peter S. Hooda. Wiley. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2010. 596 p.
37. Vodyanitskii Y.N. Mineralogy and geochemistry of manganese // *Eurasian Soil Science*. 2009. V. 42. №10. P. 1170-1178.

Поступила в редакцию 15.08.2017; принята 11.05.2018;
опубликовано 23.06.2018

Сведения об авторе:

Азаренко Юлия Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омского государственного аграрного университета (Омск, Россия), azarenko.omgau@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



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

ECOLOGO-AGROCHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE TRACE MICROELEMENTS IN THE SYSTEM OF SOIL-PLANT IN AGROCENOSSES OF OMSK IRTYSH REGION

© 2018 Yu.A. Azarenko

Address: Omsk State Agrarian University named by P.A.Stolypin, Omsk, Russian Federation
E-mail: azarenko.omgau@mail.ru

The data on the content of microelements Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B in soils of different zones of Omsk Irtysh region and plants grown on them are presented. The content of acid-soluble forms of Mn, Cu, Zn, Co, determined in 5M HNO₃, in chernozem and solonets soils of the forest-steppe and steppe approaches the background total content in the chernozems of the south of Western Siberia. It depends on the content of sludge fractions, physical clay, the value of the cation exchange capacity. On the soils of the southern taiga, plants are deficient in mobile B, Mo, Co, Cu. In the chernozem and solonets soils of the forest-steppe and steppe zones, the mobility of the Cu, Zn, Co compounds is low (0.5-1.2% of acid-soluble forms), Mn (1.8-3.3%), B and Mo (5-13%) is higher. The content in mobile zinc soils is estimated as low, Mn, Cu, Co as low and medium, Mo - medium and high, B - high. The level of trace elements in natural and cultivated plants is higher than in the southern taiga, however, a low content of Cu, Co, and sometimes Zn is often observed. In solonchaks and saline soils, excessive concentrations of mobile B are contained, which contributes to an increase in the entry of the element into food chains.

Key words: microelements; soils; plants; Omsk Irtysh Region

How to cite: Azarenko Yu.A. Ecologo-agrochemical characteristic of the trace microelements in the system of soil-plant in agrocenoses of Omsk Irtysh region // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(2): 52–66. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Ageev V.A. The content of copper and molybdenum in sod-podzolic soils of Omsk Priirtyshye and responsiveness of spring wheat to microfertilizers: author's abstract. dis. cand. agricultural sciences. Omsk. 1980. 16 pp. (in Russian)
2. Azarenko Yu.A. Influence of factors of the soil environment on the resistance of plants to boron, *Agrochimiy*, 2011, No8, p. 67-74. (in Russian)
3. Azarenko Yu.A. Regularities of the content, distribution, interrelations of microelements in the soil-plant system in the conditions of the south of Western Siberia. Omsk: Variant-Omsk, 2013. 232 p. (in Russian)
4. Alikhanova O.I. The toxic effect of boron on plants, *Agrochimiy*, 1980, No. 7, p.98-102. (in Russian)
5. Arimushkina E. V. Guide to the chemical analysis of soils. Moscow: Izd-vo Mosk. University. 1961. 491 p. (in Russian)
6. Bashkin V.N., Evstafieva E.V., Snakin V.V. et al. Biogeochemical bases of ecological rationing. Moscow: Nauka, 1993, 304 p. (in Russian)
7. Bityutskii N.P. Microelements of higher plants. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University. 2011. 368 p. (in Russian)

8. GOST 27997-88. Vegetable forages. Methods for the determination of manganese. Moscow: Standard Publishing House. 7 p. (in Russian)
9. GOST 27998-88. Vegetable forages. Methods for the determination of iron. Moscow: Standard Publishing House. 10 p. (in Russian)
10. GOST R 50682-94. Soil. Determination of mobile compounds of manganese by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 14 p. (in Russian)
11. GOST R 50683-94. Soil. Determination of mobile compounds of copper and cobalt by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 19 p. (in Russian)
12. GOST 50684-94. Soil. Determination of mobile compounds of copper by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 14 p. (in Russian)
13. GOST 50687-94. Soil. Determination of mobile cobalt compounds by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 16 p. (in Russian)
14. GOST R 50685-94. Soil. Determination of mobile compounds of manganese by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 12 p. (in Russian)
15. GOST R 50886-94. Soil. Determination of mobile compounds of zinc by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 16 p. (in Russian)
16. GOST R 50688-94. Soil. Determination of mobile boron compounds by the method of Berger and Truog in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 16 p. (in Russian)
17. GOST R 50689-94. Soil. Determination of mobile compounds of molybdenum by the Grigg method in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 14 p. (in Russian)
18. GOST 30692-2000. Forage, mixed fodder, feed forage. Atomic absorption method for determination of copper, lead, zinc and cadmium content. Minsk. 2000. 14 p.
19. *Grachev A.D.* Influence of trace elements on the metabolism of sheep in the conditions of the Kulunda steppe, *Microelements in the biosphere and their application in agriculture and medicine in Siberia and the Far East: Dokl. III Sibirsk. Conf., July 1-4, 1969, Omsk-Ulan-Ude, 1971. pp. 355-357.*
20. *Dobrovolsky V.V.* Selected works. Geochemistry of soils and landscapes. Moscow: Scient. peace. 2009. 758 p. (in Russian)
21. *Il'in V.B.* Biogeochemistry and agrochemistry of the trace elements (Mn, Cu, Mo, B) in the south of the Western Siberia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1973. 390 p. (in Russian)
22. *Il'in V.B.* Heavy metals and non-metals in the soil-plant system. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. 220 p. (in Russian)
23. *Il'in V.B., Syso A.I.* Microelements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 229 p. (in Russian)
24. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* Microelements in soils and plants. Moscow: Mir. 1989. 439 p.
25. *Kashin V.K., Ubugunov L.L.* Accumulation Features of Microelements in Wheat Grain in Western Transbaicalia, *Agrochimiya*, 2012, No 4, p. 68-76. (in Russian)
26. *Kovalsky V.V.* Geochemical ecology. M.: Nauka. 1974. 297 p. (in Russian)
27. Methodological recommendations for the determination of standards for the ratio of macro- and microelements in plants through the ISOD system, Moscow, 1989, 80 p. (in Russian)
28. *World reference base of soil resources 2014. International soil classification system for soil diagnostics and creation of soil map legends. Correction. and additional. version 2015. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO and Moscow State University, 2017, 203 p.*
29. *Orlova E.D., Pykhtareva E.G.* Microelements in soils and plants of Omsk region and application of microfertilizers, Omsk: OmGAU, 2007, 76 p. (in Russian)
30. *Protasova N.A., Shcherbakov A.P.* The microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) in Chernozems and Gray forest soils of the Central Chernozem region, Voronezh: Voronezh. State. Univ., 2003, 368 p. (in Russian)
31. *Siromlya T.I.* Using 5 M HNO₃ to study chemical elements in soils of the south of West Siberia, *III Kovalevsk youth readings "Soil is a resource of ecological and food security": materials scientific conf. (Novosibirsk, September 26-30, 2016), Tomsk, 2016, p. 284-290.* (in Russian)
32. *Syso A.I.* Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 277 p. (in Russian)
33. *Adriano D.C.* Trace elements in the terrestrial environment. New York, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 2001, 868 p.
34. *Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S.* Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2003, V. 36, No 5, p. 494-500.
35. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 548 p.
36. Trace elements in soils. Editor: Peter S. Hooda. Wiley. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2010. 596 p.
37. *Vodyanitskii Y.N.* Mineralogy and geochemistry of manganese, *Eurasian Soil Science*, 2009, V. 42, No 10, p. 1170-1178.

*Received 15 September 2017; accepted 11 May 2018;
published 23 June 2018.*

About author:

Azarenko Yuliya A. – Candidate of Agricultural Sciences, of Soil Science and Agrochemistry Chair of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Omsk, Russia), azarenko.omgau@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



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

**ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВОСУБСТРАТОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РЕКУЛЬТИВАЦИИ**© 2018 г. И.П. Беланов, О.А. Савенков, Н.Б. Наумова *Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: bel_ivan@rambler.ru***Цель исследования.** Оценка влияния различного рода шлаков, образуемых в ходе металлургического производства, на начальные этапы роста и развития растений.**Место и время проведения.** Опыт проводили в лабораторных условиях. В течение 2-х недель для выращивания тест-культур поддерживали благоприятный режим температуры, влажности и световой период с интенсивностью света до 1500 люкс.**Методология.** Для проведения тестирования шлаков металлургического производства на фитотоксичность опирались на ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Для исследований использовали один вид однодольных растений (овес *Avena sativa* L. сорта Ровесник) и один вид двудольных растений (редис *Raphanus sativus* var. *Sativus* сорта Сакса РС). Для исследования использовали четыре основных вида шлака, получаемых ЕВРАЗ ЗСМК при различных технологиях плавки металла: шлак белый обезжелезненный, шлак доменный (мартеновский), шлак электросталеплавильный и шлак конверторный. Концентрация шлаков в почвенно-шлаковых смесях, использованных в качестве ростовых субстратов составляла 0% (почва); 12,5; 25; 50 и 100% (чистый шлак). Для статистического анализа полученных данных использовали методы описательной статистики и корреляционного анализа.**Основные результаты.** При выращивании растений редиса и овса фитотоксичность не была выявлена у щебня шлакового электросталеплавильного при любых концентрациях этого шлака в тестируемой почвенно-шлаковой смеси и в чистом виде. Шлак белый обезжелезненный при тестировании и с овсом, и с редисом проявил фитотоксичность в чистом виде и в 50%-ной концентрации. Щебень шлаковый конверторный и щебень шлаковый доменный проявили фитотоксичность в концентрациях 50 и 100% при тестировании с овсом, и только в чистом виде – при тестировании с редисом.**Заключение.** На ранних стадиях развития растений три из четырех изученных шлаков металлургического производства проявили фитотоксичность только при очень высоких концентрациях в ростовых субстратах. Для отработки перспективных технологий вовлечения шлаков при рекультивации рекомендуем проведение более длительных вегетационных и полевых опытов при значительно меньших концентрациях шлаков в субстратах и с использованием растений, которые могут быть реально использованы для целей конкретной рекультивации, например, бобово-злаковых, бобово-злаково-разнотравных смесей, а также древесно-кустарниковых культур.**Ключевые слова:** шлаки металлургического производства; фитотоксичность; смеси почвы и шлаков; редис; овес**Цитирование:** Беланов И.П., Савенков О.А., Наумова Н.Б. Фитотоксичность почвосубстратов на основе шлаков металлургического производства, используемых в рекультивации // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.67–79.**ВВЕДЕНИЕ**

Утилизация, консервация и рециклинг различного рода отходов с каждым годом становятся все более актуальными. Одним из основных источников накопления крупнотоннажных объемов отходов является металлургическое производство. В настоящее время данная проблема наиболее ярко выражена для Кемеровской области – одного из крупных центров металлургического производства, расположенного в Западной Сибири. Существующие технологии позволяют вовлекать шлаки металлургического производства в различные отрасли народного хозяйства. Например, эти отходы используют в качестве материала при строительстве дамб, дорожной одежды и тротуаров (Gökalp et al., 2018), отсыпки оснований зданий и сооружений (Левкович и соавт., 2017; Boltakova et al., 2015; Степанова, Акулова, 2017), заполнения отработанных карьерных и шахтных выработок, как добавки в строительные смеси (Markandeya et al., 2018), как удобрения, содержащие Са и Mg, как мелиоранты,

особенно для повышения pH и снижения подвижности алюминия (Li et al., 2010), и т.п. (Боброва и др., 2015). Шлаки можно использовать для рекультивации токсичных техногенных объектов: хвостохранилищ обогатительных фабрик, полигонов захоронения ТБО и других, поскольку при проведении горно-технического этапа рекультивации этих объектов требуется использование различного рода инертных материалов (Gawog, Jonczy, 2015). Кроме собственно защиты окружающей среды и ресурсов благодаря разнообразному использованию шлаков черной металлургии, такое использование имеет и большое экономическое значение (Шамари, 2015).

Вовлечение различного рода отходов, в том числе шлаков металлургического производства, требует изучения воздействия этих отходов на объекты окружающей среды. Оценка фитотоксичности, т.е. способности отходов подавлять рост и развитие растений, является одним из основных методов оценки воздействия отходов на живые организмы и определяющее перспективы использования данного материала в рекультивации.

Целью данной работы было изучить влияние различного рода шлаков, образуемых в ходе металлургического производства, на начальные этапы роста и развития растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тест-растения. Для проведения тестирования шлаков металлургического производства на фитотоксичность в работе руководствовались ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Для исследований использовали один вид однодольных растений (овес *Avena sativa* L. сорта Ровесник) и один вид двудольных растений (редис *Raphanus sativus* var. *Sativus* сорта Сакса РС). Благоприятной средой обитания для тест-растений являются песчаные и суглинистые почвы с pH в диапазоне от 5,0 до 7,5 и с различной влажностью.

Всхожесть семян *in vitro*, т.е. в лабораторных условиях в чашках Петри, составляла 100% для редиса и 80% для овса, в дальнейшем это учитывалось при посеве и анализе.

Количество семян и прорезживание. С учетом возможности непрорастания некоторых семян в каждый инкубационный сосуд объемом 250 мл высевали 30 семян редиса. Семена растений брали кончиками пинцета и закладывали их в субстрат непосредственно на требуемую глубину, т.е. 2-3 мм для редиса и 10-15 мм для овса.

Условия выращивания. Растения росли при комнатной температуре 22-23°C и умеренной влажности. Для обеспечения условий нормального роста и развития растений поддерживали 16-часовой световой день при интенсивности света 1500 люкс и 8 часов темноты. Для предотвращения влияния неравномерного освещения, температуры, влажности или вентиляции на рост тест-растений испытательные сосуды регулярно (два-три раза в неделю) переставляли случайным образом.

После появления всходов и по истечении 1 недели роста и развития подсчитывали число растений в каждом сосуде с почвенно-шлаковыми смесями и с контрольной почвой и выражали это число в процентах от среднего количества растений в сосудах с контрольной почвой. По истечении 2 недель роста и развития наряду с числом растений определяли сырую надземную фитомассу путем срезания растений над поверхностью субстрата и взвешиванием.

Шлаки. Тестирование на фитотоксичность проводили со шлаками, получаемыми при производстве металла на Западносибирском металлургическом комбинате ЕВРАЗ. Щебень шлаковый электросталеплавильный (далее обозначаемый Э), щебень шлаковый белый обезжелезненный (печь-ковш, далее – Б), щебень шлаковый конвертерный (К) и щебень шлаковый доменный (Д). Каждый из шлаков прошел предварительную обработку на предприятии ООО «Технологии рециклинга», включающую разрушение спекшейся массы при помощи щековых дробилок, сортировку от включений металла и калибровку на трехъярусных грохотах. В опыте был использован щебень шлаковый фракции 0,5-1,5 см, который по заключению компании-переработчика относится к IV классу опасности.

Некоторые химические свойства шлаков представлены в табл.1.

Почва. В качестве контрольного субстрата использовали незагрязненный плодородный слой агротемно-серой почвы среднесуглинистый, некоторые химические свойства которой представлены в табл.1.

Почвенно-шлаковые смеси. В соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 22030-2009 готовили почвенно-шлаковые смеси с контрольной почвой. В опыте были использованы следующие доли внесения шлака от массовой доли почвы: 0%, 12,5%, 25%, 50% и 100% шлака. Для получения смесей контрольную почву и шлак перемешивали вручную до достижения гомогенности под визуальным контролем.

Таблица 1. Некоторые химические свойства тестируемых шлаков и почвы, используемой в качестве контроля и для приготовления смесей со шлаками

Вид субстрата	C _{орг} , %	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы	ЕКО, мг-экв/100г почвы	pH _{водн}	N _{общ} , %	CaO, %	MgO, %
щебень шлаковый электростале-плавильный	0,58	66	16	5,80	11,52	0,06	30,80	12,62
шлак белый обезжелезненный (печь-ковш)	0,46	1	18	4,20	11,59	0,08	57,20	7,09
щебень шлаковый конвертерный	0,83	2	35	8,10	11,69	0,06	32,70	8,74
щебень шлаковый доменный	1,51	33	98	12,30	10,67	0,14	30,90	12,0
почва	6,80	240	510	н.о.	5,84	0,37	0,40	0,10

Примечание: н.о. – не определено

Смеси почвы и шлаков выдерживали при комнатной температуре не менее двух дней для установления кислотного равновесия. Для определения pH смесей за 1-2 дня до начала тестирования их увлажняли добавлением воды до достижения примерно половины требуемой конечной влажности в 40-60% полной влагоемкости, т.е. приблизительно 50% влажности в расчете на сухое вещество. Перед высевом семян конечную влажность почвы соответствующим количеством воды.

Статистическая обработка. Полученные данные анализировали методами описательной статистики, дисперсионного анализа и анализа главных компонент с помощью пакета статистических программ *Statistica v.6.1*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тестирование с редисом. Число проросших семян и дальнейшее развитие растений варьировали в зависимости от шлака и его количества в смеси.

Шлак электросталеплавильный. На шлаке Э доля проросших семян в смесях с концентрацией шлака 50 и 100% достоверно превышала таковую в контрольной почве и в смесях с более низкой концентрацией (табл. 2, рис. 1). По прошествии 1 и 2 недель роста и развития растений редиса эти различия исчезали (рис. 2), т.е. шлак Э не проявлял никакой фитотоксичности по отношению к этому виду тест-растений как по числу растений, так и по фитомассе через 2 недели (табл. 3).

Таблица 2. Число растений редиса на субстратах с различными шлаками

Шлак, % в смеси	Всходы, шт.	Всходы, % *	1 неделя, % *	2 недели, % *
1	2	3	4	5
Шлак электросталеплавильный				
100	28 ± 1 б**	147 ± 5 б	123 ± 8 а	120 ± 6 а
50	25 ± 2 б	133 ± 8 б	107 ± 8 а	105 ± 10 а
25	19 ± 2 а	100 ± 10 а	95 ± 11 а	96 ± 11 а
12,5	14 ± 1 а	77 ± 7 а	100 ± 18 а	107 ± 21 а
0***	19 ± 1 а	100 а	100 а	100 а
Шлак белый обезжелезненный				
100	10 ± 2 с**	52 ± 9 с	93 ± 14 б	113 ± 12 б
50	4 ± 1 а	21 ± 3 а	52 ± 2 а	52 ± 6 а
25	8 ± 1 bc	44 ± 8 bc	77 ± 7 а	71 ± 7 а
12,5	26 ± 1 е	138 ± 8 е	139 ± 12 с	132 ± 9 с
0***	19 ± 1 d	100 d	100 б	100 б
Шлак конверторный				
100	24 ± 2 с**	202 ± 15 с	88 ± 9 а	98 ± 1 а
50	3 ± 1 а	26 ± 9 а	121 ± 12 б	144 ± 15 б
25	12 ± 2 б	102 ± 13 б	96 ± 5 а	104 ± 2 а
12,5	10 ± 4 ba	83 ± 33 б	95 ± 4 а	104 ± 10 а
0***	12 ± 2 б	100 б	100 а	100 а

1	2	3	4	5
Шлак доменный				
100	23 ± 1 с	200 ± 3 с	72 ± 5 а	76 ± 5 а
50	9 ± 3 б	74 ± 33 б	130 ± 11 bc	138 ± 12 bc
25	2 ± 0 а	14 ± 7 а	140 ± 19 с	142 ± 16 с
12,5	2 ± 0 а	14 ± 3 а	119 ± 20 bc	126 ± 18 bc
0***	12 ± 2 б	100 б	100 ab	100 ab

Примечание:

* доля (в процентах) от контроля, т.е. почвы без добавления шлака;

** разные буквы в столбцах обозначают, что значения различны на уровне значимости $P \leq 0,05$;

*** контрольная почва без добавления шлака.

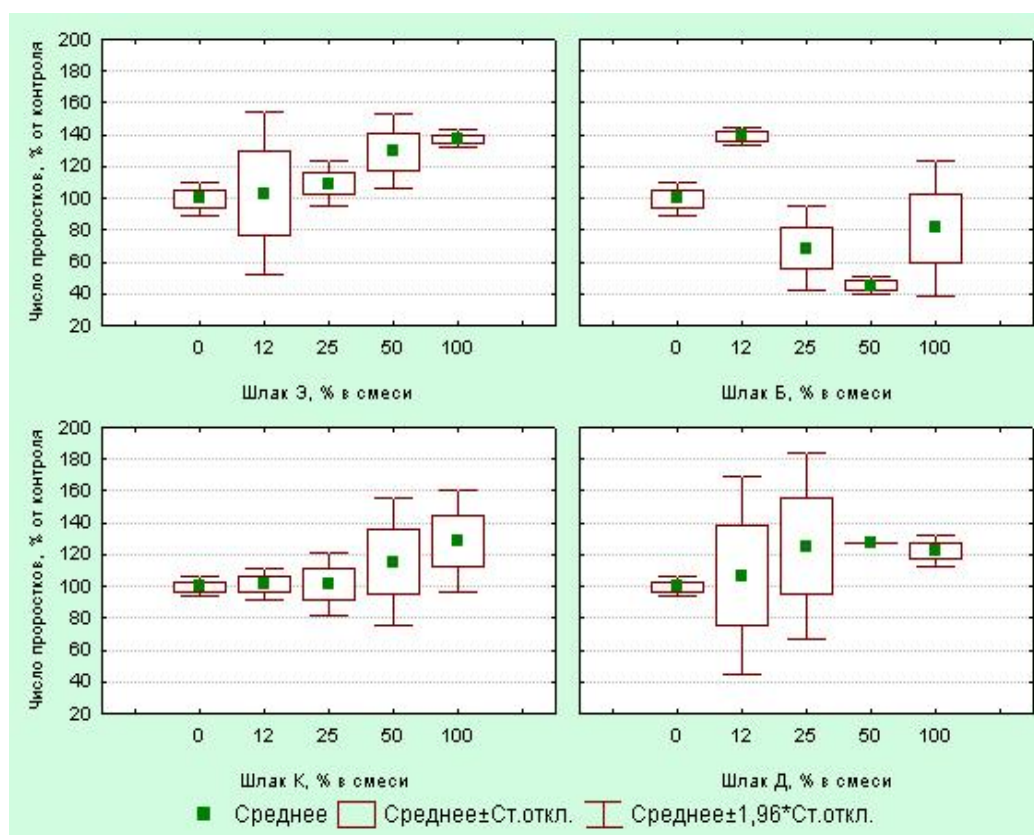


Рисунок 1. Число проросших семян редиса, выраженное в процентах от числа семян, проросших на контроле (почвы без примеси шлака)

Таблица 3. Надземная фитомасса редиса на разных почвенно-шлаковых смесях и контрольной почве, г/сосуд

Шлак, % в смеси	Шлак Э	Шлак Б	Шлак К	Шлак Д
100	0,60 (72*) a**	0,56 (67) а	0,44 (53) а	0,34 (46) а
50	0,99 (119) а	0,49 (59) а	1,19 (144) с	1,16 (156) с
25	0,85 (103) а	0,65 (79) ab	0,84 (101) b	1,17 (158) с
12,5	0,87 (105) а	1,03 (124) с	0,72 (87) b	0,88 (120) bc
0***	0,83 (100) а	0,83 (100) б	0,74 (100) b	0,74 (100) b

Примечание:

* в скобках доля (в процентах) от контроля, т.е. на почве без добавления шлака;

** разные буквы в столбцах обозначают, что значения различны на уровне значимости $P \leq 0,05$;

*** контрольная почва без добавления шлака.

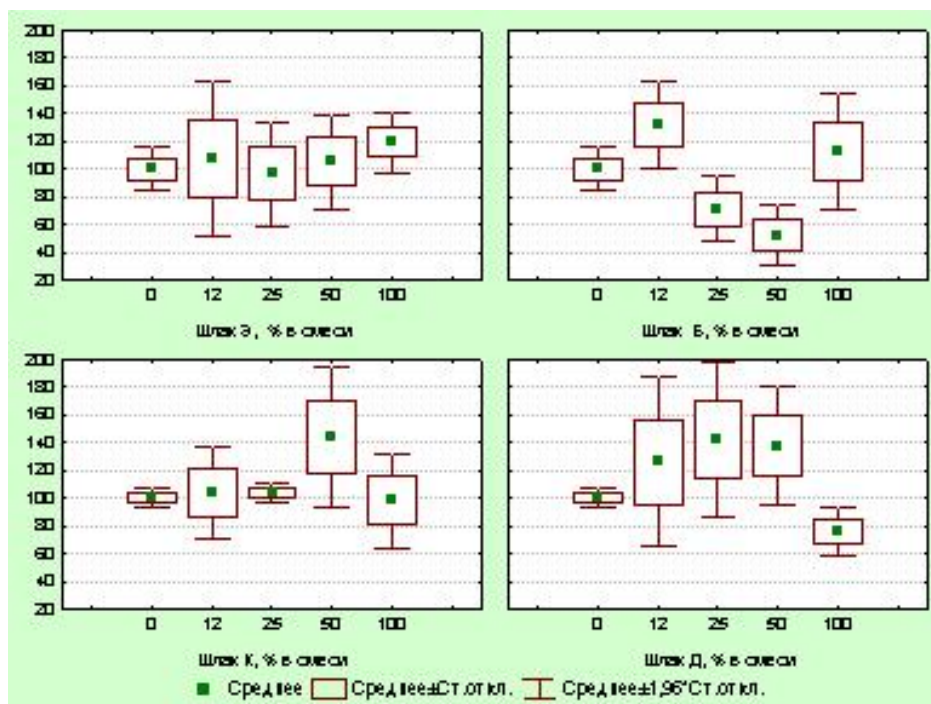


Рисунок 2. Число растений редиса, растущих на почвенно-шлаковых смесях через 2 недели после посева, в процентах от контроля (почвы без добавления шлака)

Шлак белый обезжелезненный. На шлаке **Б** доля проросших семян статистически значимо ($P \leq 0,05$) различалась между всеми субстратами, будучи минимальной в смесях с концентрациями 25-100% (табл. 2). По прошествии 1 и 2 недель роста и развития растений редиса фитотоксичность проявлялась на смесях с концентрациями шлака 25 и 50% (рис. 2), в то время как на смеси с концентрацией 12,5% наблюдалось даже стимулирующее влияние ($P \leq 0,05$). На чистом шлаке прорастание семян было замедлено, и поэтому к 2 неделям число растений оказалось выше значений для контрольной почвы. Однако по фитомассе наблюдали резкое снижение (табл. 3), т.е. шлак **Б** в больших концентрациях проявлял токсичность по отношению к растениям редиса (рис. 2).

Шлак конверторный. На шлаке **К** доля проросших семян в смесях с концентрацией шлака 50% была ниже таковых во всех других субстратах ($P \leq 0,05$), а в чистом шлаке была существенно выше по сравнению с контрольной почвой и в смесях с 12,5 и 25%-ной концентрацией (табл. 2, рис. 1). По прошествии 1 и 2 недель роста и развития растений редиса фитотоксичность по числу растений в смесях 12,5, 25 и 100%-ным содержанием шлака не была выявлена (рис. 2), в то время как 50% почвенно-шлаковая смесь проявляла даже некоторое стимулирующее воздействие ($P \leq 0,05$). Однако по фитомассе растений через 2 недели (табл. 3) на чистом шлаке наблюдалось четкое подавление развития растений.

Шлак доменный. На шлаке **Д** относительное количество проросших семян в смесях с концентрацией шлака 12,5 и 25% было статистически значимо ниже таковых как по сравнению с контрольной почвой, так и по сравнению с более высокими концентрациями, а в чистом шлаке была существенно выше по сравнению с контрольной почвой и в смесях с 12,5 и 25%-ной концентрацией (табл. 2, рис. 1). По прошествии 1 и 2 недель роста и развития растений редиса фитотоксичность по числу растений не была выявлена ни на каких смесях (рис. 2), в то время как смесь с 25%-ным проявила стимулирующее воздействие. Однако по фитомассе растений через 2 недели наблюдали токсическое действие чистого шлака (табл. 3).

Корреляционный анализ выявил наличие положительной связи между прорастанием семян редиса и содержанием подвижного фосфора (табл. 4). Также была выявлена положительная связь между концентрацией оксида магния в субстрате и количеством проросших семян, выраженных как процент от количества семян, проросших на контрольной почве.

По фитомассе фитотоксичное воздействие шлаков на рост и развитие растений редиса к возрасту 2 недели было выявлено у шлака **Б** (в концентрации 50 и 100%), у шлаков **К** и **Д** (в концентрации 100%). При этом шлаки **К** и **Д** в концентрациях 50% и 25-50%, соответственно, демонстрировали стимулирующее влияние на развитие растений редиса на этом этапе.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции числа и фитомассы растений редиса с химическими свойствами почвенно-шлаковых смесей

Показатель	Проростки, шт.	Проростки, % *	Проростки, % **	Растения, 1 неделя, %	Растения, 2 недели, %	
					число	фитомасса
C	-0,15	-0,15	-0,30	0,12	-0,02	0,45
P ₂ O ₅	0,57***	0,57	0,34	0,22	0,04	0,03
K ₂ O	-0,35	-0,35	-0,39	0,21	0,10	0,49
pH	0,30	0,30	0,38	-0,19	-0,07	-0,49
N	-0,12	-0,12	-0,28	0,07	-0,08	0,40
CaO	0,12	0,12	0,16	-0,30	-0,15	-0,52
MgO	0,40	0,40	0,49	-0,08	-0,01	-0,41

Примечание:

* доля проросших семян от внесенного числа семян;

** относительно контрольной почвы;

*** жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Тестирование с овсом

Семена овса прорастали быстро (1-2 дня) на всех субстратах, однако число проросших семян и дальнейшее развитие растений овса варьировали в зависимости от шлака и его количества в смеси.

Шлак электросталеплавильный. На шлаке Э число проросших семян овса в смесях с концентрацией шлака 25, 50 и 100% достоверно превышало таковое в контрольной почве и в 12,5%-ной смеси (табл. 5, рис. 3). После 1 недели роста и развития растений овса относительное число растений овса на 50%-ной почвенно-шлаковой смеси было в 1,4 раза выше по сравнению с контролем (рис. 4), при этом на других смесях достоверных отличий по этому показателю не выявлено. Однако по надземной фитомассе, развившейся за 2 недели, фототоксичное действие шлака было четко выявлено в концентрациях 50 и 100% (табл. 6).

Таблица 5. Число растений овса на субстратах с разными шлаками

Шлак, % в смеси	Проростки, шт.	Проростки, % *	Растения, 1 неделя, % **	Растения, 2 недели, % **
Шлак электросталеплавильный				
100	13 ± 1 bc***	89 ± 4 b	140 ± 7 bc	111 ± 5 b
50	14 ± 0 c	91 ± 2 bc	144 ± 4 c	116 ± 0 b
25	12 ± 2 bc	82 ± 11 b	130 ± 17 bc	108 ± 8 ab
12,5	8 ± 2 a	53 ± 13 a	84 ± 21 a	86 ± 14 a
0****	10 ± 0 ab	63 ± 2 a	100 ab	100 a
Шлак белый обезжелезненный				
100	7 ± 2 ab***	44 ± 10 a	70 ± 17 a	75 ± 9 a
50	9 ± 1 b	62 ± 5 b	98 ± 9 b	100 ± 4 b
25	14 ± 0 c	93 ± 0 c	147 ± 1 c	125 ± 1 c
12,5	14 ± 1 c	91 ± 5 c	144 ± 9 c	114 ± 7 bc
0****	10 ± 0 b	63 ± 2 b	100 b	100 b
Шлак конверторный				
100	13 ± 1 b***	89 ± 2 b	95 ± 2 b	98 ± 9 b
50	10 ± 2 a	63 ± 11 a	68 ± 10 a	66 ± 11 a
25	13 ± 1 b	84 ± 5 b	90 ± 6 b	90 ± 6 b
12,5	13 ± 1 b	87 ± 6 b	93 ± 7 b	95 ± 6 b
0****	14 ± 1 b	93 ± 0 b	100 b	100 b
Шлак доменный				
100	12 ± 1 b***	82 ± 2 b	88 ± 2 b	95 ± 2 b
50	4 ± 1 a	24 ± 4 a	26 ± 6 a	38 ± 4 a
25	13 ± 1 b	89 ± 4 b	95 ± 4 b	98 ± 2 b
12,5	13 ± 1 b	87 ± 3 b	93 ± 4 b	102 ± 5 b
0****	14 ± 0 b	93 ± 0 b	100 b	100 b

Примечание:

* доля (в процентах) от числа посеянных семян; ** доля (в процентах) от контроля, т.е. почвы без добавления шлака; *** разные буквы в столбцах обозначают, что значения различны на уровне значимости P ≤ 0,05; **** контрольная почва без добавления шлака.

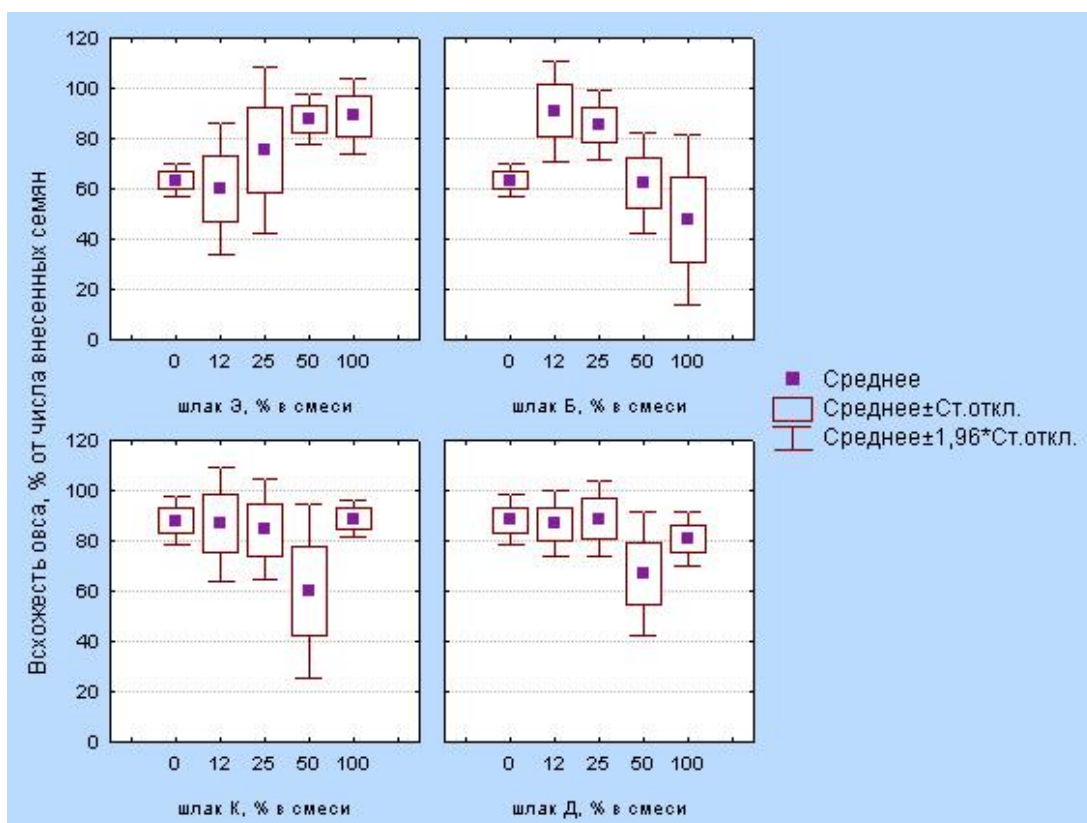


Рисунок 3. Всхожесть семян овса на различных почвенно-шлаковых смесях, в % от внесенного числа семян.

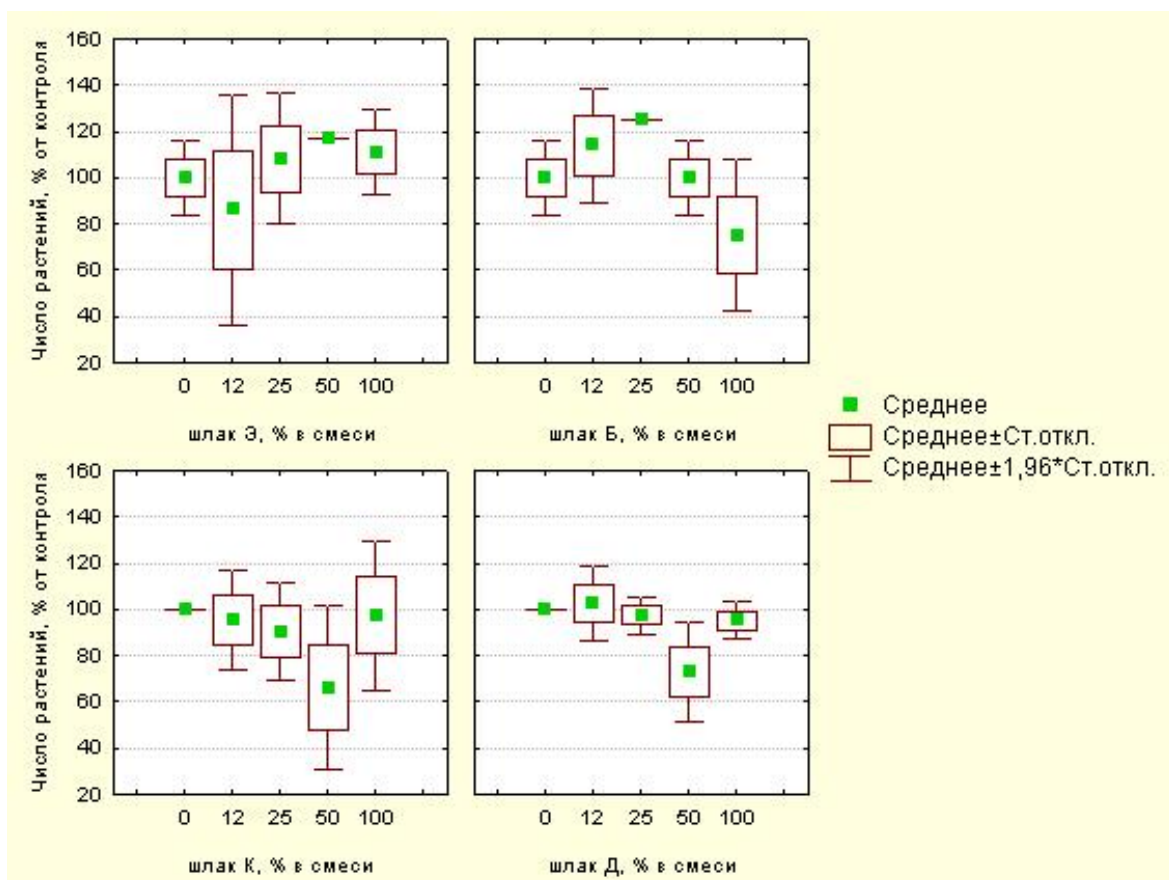


Рисунок 4. Растения овса через 2 недели после посева на почвенно-шлаковые смеси, в % от контроля (почвы без добавления шлаков)

Таблица 6. Надземная фитомасса овса на разных почвенно-шлаковых смесях и контрольной почве

% шлака в смеси	Шлак Э	Шлак Б	Шлак К	Шлак Д
100	1,07 (66*) а **	0,03 (2) а	1,09 (60) а	1,07 (58) а
50	2,09 (131) б	0,04 (3) а	1,38 (75) а	0,80 (44) а
25	1,93 (121) б	1,51 (95) б	1,85 (101) с	1,99 (109) б
12,5	1,33 (84) а	2,55 (160) с	1,67 (91) bc	1,80 (98) б
0***	1,60 (100) ab	1,60 (100) б	1,83 (100) б	1,83 (100) б

Примечание:

* доля (в процентах) от контроля, т.е. на почве без добавления шлака;

** разные буквы в столбцах обозначают, что значения различны на уровне значимости $P \leq 0,05$;

*** контрольная почва без добавления шлака.

Шлак белый обезжелезненный. На шлаке **Б** число проросших семян овса, как по отношению к контролю, так и по отношению к числу внесенных в контейнер семян, в смесях с концентрацией шлака 12,5 и 25% достоверно превышало таковое в контрольной почве (табл. 5, рис. 3). После 1 и 2 недель роста и развития относительное число растений овса на 50%-ной почвенно-шлаковой смеси достоверно не отличалось от контроля, однако на чистом шлаке было существенно снижено (рис. 4), а на почвенно-шлаковых смесях с 12,5 и 25% шлака почти в 1,5 раза повышено. Однако по фитомассе фитотоксичное действие шлака по отношению к росту и развитию растений овса было выявлено у концентраций шлака в субстратах 50 и 100% (табл. 6).

Шлак конверторный. На шлаке **К** число проросших семян овса, как по отношению к контролю, так и по отношению к числу внесенных в контейнер семян, в смеси с концентрацией шлака 50% было достоверно ниже по сравнению с контрольной почвой, а на остальных смесях отличий не было выявлено (табл. 5, рис. 3). После 1 и 2 недель роста и развития относительное число растений овса на 50%-ной почвенно-шлаковой смеси так и осталось существенно (в 1,5 раза) ниже по сравнению с контролем, однако на смесях с другими концентрациями шлака 3 статистически значимого снижения не установлено (рис. 4). По надземной фитомассе, однако, фитотоксичное действие шлака было выявлено на субстратах с концентрациями 50 и 100% (табл. 6).

Шлак доменный. На шлаке **Д** число проросших семян овса, как по отношению к контролю, так и по отношению к числу внесенных в контейнер семян, в смеси с концентрацией шлака 50% было существенно (в 3,5 раза) и достоверно ниже по сравнению с контрольной почвой, а на остальных смесях отличий не было выявлено (табл. 5, рис. 3). После 1 и 2 недель роста и развития относительное число растений овса на 50%-ной почвенно-шлаковой смеси так и осталось существенно (в 1,5 раза) меньше как по сравнению с контролем, так и по сравнению со смесями с другими концентрациями шлака (рис. 4). По надземной фитомассе токсичность шлака была установлена для концентраций 50 и 100% (табл. 6).

Корреляционный анализ показал наличие положительной связи между числом растущих через 1 неделю проростков овса и содержанием подвижного фосфора (табл. 7). По надземной фитомассе, как и следовало ожидать, выявлена положительная связь с содержанием органического углерода и азота в субстратах, а также подвижного калия и отрицательная связь с рН и оксидами щелочноземельных металлов.

Таблица 7. Коэффициенты корреляции числа растений овса с химическими свойствами почвенно-шлаковых смесей

Показатель	Проростки, % *	Растения, 1 неделя, %	Растения, 2 недели, %	
			число	фитомасса
$C_{орг}$	0,09	0,18	0,24	0,63
P_2O_5	0,16	0,47**	0,32	0,26
K_2O	0,16	0,04	0,13	0,60
pH	-0,14	-0,08	-0,16	-0,61
N	0,03	0,19	0,25	0,59
CaO	-0,27	-0,13	-0,19	-0,73
MgO	-0,07	-0,04	-0,14	-0,46

Примечание:

* доля проросших семян от внесенного числа семян;

** жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании тестирование проводили в течение 2 недель при довольно высоких концентрациях шлака в почвенно-шлаковой смеси (12,5-100%). Выявленная положительная связь продукции фитомассы с содержанием органического углерода и общего азота свидетельствует о ведущей роли почвенной составляющей в обеспечении растений питательными элементами, разнообразными почвенными микроорганизмами, водой и т.п., т.е. в целом в обеспечении относительно благоприятной среды для роста и развития растений на почвенно-шлаковых смесях в качестве ростовых субстратов.

При этом в нашем опыте выявлена отрицательная корреляция фитомассы растений с общим содержанием кальция и магния. Ранее было показано положительное влияние добавления шлака электросталеплавильного на продукцию кукурузы (Radic et al., 2013) путем обеспечения растений Fe, Mn, Mg, K и частично P; на продукцию томатов в засоленных почвах благодаря снижению содержания обменного натрия и повышению обеспечения растений кальцием и магнием (Pistocchi et al., 2017). Внесение шлака конверторного также способствовало очень значительному повышению продукции пшеницы в парниковых и полевых условиях за счет обеспечения растений магнием на гипсованных кислых почвах (Peregrina et al., 2008), или продукции кукурузы за счет обеспечения Fe, Mn, Zn и Cu в условиях вегетационного опыта (Melali, Shariatmadari, 2008). Растения амаранта, например, за 6 недель роста оказались сильно угнетены при 10%-ной концентрации шлака в почве (Pietrini et al., 2017). Все эти результаты, однако, были получены при значительно меньших концентрациях шлака в почве (иногда менее 1%, но в основном не более 5-10%) и при более длительном (месяцы) проведении опыта (Prado et al., 2005; Melali, Shariatmadari, 2008, и др.). Таким образом, создается впечатление, что тестирование на фитотоксичность непрактично проводить при столь больших концентрациях шлака, которые в реальности нет смысла использовать, в особенности для продукции сельскохозяйственных культур. Кроме того, очевидно, что 2-х недель недостаточно для того, чтобы под влиянием почвенного раствора, почвенных микроорганизмов и роста растений произошли ощутимые сдвиги в соотношении и локализации обменных катионов в почвенно-шлаковых смесях.

Несмотря на наличие общих свойств - высокие значения pH, содержание оксидов щелочноземельных металлов – каждый шлак обладает своим спектром химических элементов в зависимости от особенностей производства на конкретном металлургическом предприятии. Поэтому, строго говоря, каждый шлак является уникальным субстратом. И всестороннее тестирование таких субстратов для широкого использования в различных отраслях необходимо в каждом конкретном случае. Несмотря на такую уникальность, создается впечатление, что шлаки электросталеплавильного и конверторного производства разных стран в целом менее токсичны (Prado et al., 2005; Melali, Shariatmadari, 2008, Radic et al., 2013; Pietrini et al., 2017; Pistocchi et al., 2017; и др.). Наши данные согласуются в этом с данными других исследователей.

В целом же высокое содержание кальция и магния в шлаках, особенно при отсутствии эффекта фитотоксичности на ранних этапах развития растений, является хорошей предпосылкой для дальнейшего более детального изучения этих шлаков при добавлении в небольших (максимум 5%) дозах в качестве мелиорантов для повышения реакции среды кислых почв, снижения засоленности почвы и удобрения растений (Матыченков, Бочарникова, 2003; Свергузова, Василенко, 2005; Шамари, 2015; Pistocchi et al., 2017).

Протестированные шлаки, за исключением щебня электросталеплавильного, в высоких концентрациях в почвенно-шлаковых смесях проявили фитотоксичность на ранних стадиях развития растений редиса и овса. Не исключено, однако, что при более длительном (6-8 недель) тестировании до появления генеративных органов у тест-растений фитотоксическое воздействие шлака может проявиться и при меньших концентрациях шлака в почвосмеси (Pietrini et al., 2017).

Тестирование на фитотоксичность того или иного материала само по себе не позволяет в полной степени выявить конкретные механизмы угнетения роста и развития растений данным материалом. Эти механизмы могут быть самыми разнообразными. А поскольку тестовые растения в частности или любые другие тест-организмы в общем не являются универсальными, то всегда существует вероятность сильного взаимодействия между тест-организмом и тестируемым материалом или веществом, т. е. проявления фитотоксичности могут быть различными при использовании разных тест-растений. Поэтому представляется целесообразным проведение тестирования отходов, в том числе и металлургических шлаков, на фитотоксичность, выбирая в качестве тест-растений те виды, которые могут быть использованы в реальных производственных технологиях утилизации данных отходов и поставленных задач рециклинга.

ВЫВОДЫ

1. При тестировании шлаков в течение двух недель при выращивании растений редиса и овса фитотоксичность не была выявлена у щебня шлакового электросталеплавильного при любых концентрациях этого шлака в тестируемой почвенно-шлаковой смеси и в чистом виде.

2. Щебень шлаковый белый обезжелезненный при тестировании и с овсом, и с редисом проявил фитотоксичность в чистом виде и в 50%-ной концентрации.

3. Щебень шлаковый конвертерный и щебень шлаковый доменный проявили фитотоксичность в концентрациях 50 и 100% при тестировании с овсом, и только в чистом виде – при тестировании с редисом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется нецелесообразным тестирование металлургических шлаков на фитотоксичность с использованием растений сельскохозяйственных культур, т.е. культур, которые вряд ли будут использованы в технологиях утилизации шлаков. Если все-таки планируется использование шлаков в качестве мелиорантов или удобрений на пахотных почвах для сельскохозяйственного производства, то тестирование на фитотоксичность нужно проводить при значительно более низких концентрациях шлака в почве, более длительное время и, наряду с вегетационными лабораторными опытами, в реальных полевых условиях. Для отработки потенциально перспективных экотехнологий утилизации шлаков, в частности, для выявления возможности использования шлаков в рамках инжиниринга рекреационных ландшафтов, мы рекомендуем использование бобово-злаковых, бобово-злаково-разнотравных смесей и древесно-кустарниковых культур для тестирования шлаков в условиях вегетационных и полевых опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боброва З. М., Ильина О. Ю., Хохряков А. В., Цейтлин Е. М. Применение отходов горно-металлургических и металлургических производств в целях рационального природопользования // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2015. № 4(40). С 16-26.
2. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. Москва: Стандартинформ, 2010. 19 с.
3. ИСО 11269-2:2012 *Качество почвы*. Определение воздействия загрязняющих веществ на флору почвы. Часть 2. Воздействие загрязненной почвы на всхожесть и ранний рост высших растений. Москва: Стандартинформ, 2013. 21 с.
4. Левкович Т.И., Мащенко Т.В., Мевлидинов З.А., Синявский Р.С. Об утилизации шлаков и освобождении занятых городских территорий промышленных зон с использованием шлака в дорожном строительстве // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2017. № 4 (20). С. 113-122.
5. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений. // *Агрехимия*. 2003. № 5. С. 42-47.
6. Свергузова С.В., Василенко Т.А. К вопросу об использовании цитогенетического анализа в биотестировании // *Экология и промышленность России*. 2005. №10. С.34-36.
7. Степанова Е.А., Акулова М.В. Металлургические шлаки: основные направления их применения в строительной индустрии // *Информационная среда вуза*. 2017. №1(1). С. 52-55.
8. Шамари У. Экономический аспект: защита окружающей среды и ресурсов благодаря шлакам черной металлургии // *Черные металлы*. 2015. №7(1003). С. 54-56.
9. Boltakova N.V., Faseeva G.R., Kabirov R.R., Nafikov R.M., Zakharov Yu.A. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015 // *Waste Management*, 2017, V. 60. P. 230-246.
10. Gawor L., Jonczy I. Possibilities of recycling of metallurgical slags and coal mining wastes and reclamation of dumping grounds in Upper Silesian Coal Basin (southern Poland) // *Materials and Geoenvironment*. 2015. V. 62. P. 271-276.
11. Gökalp İ., Uz V. E., Saltan M., Tutumluer E. Technical and environmental evaluation of metallurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications, *Transportation Geotechnics*, 2018, V. 14, P.61-69.
12. Li J.-Y., Wang N., Xu R.-K., Tiwari D. Potential of Industrial Byproducts in Ameliorating Acidity and Aluminum Toxicity of Soils Under Tea Plantation // *Pedosphere*. 2010. V. 20, N.5, P.645-654.
13. Markandeya A., Shanahan N., Gunatilake D. M., Riding K.A., Zayed A. Influence of slag composition on cracking potential of slag-portland cement concrete // *Construction and Building Materials*. 2018. V. 164. P. 820-829.
14. Melali A. R., Shariatmadari H. Application of steel making slag and converter sludge in farm manure enrichment for corn nutrition in greenhouse conditions // *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 2008. V.11. No.42(B). P.505-514.

15. *Peregrina F., Mariscal I., Ordonez R., Gonzalez P., Terefe T., Espejo R.* Agronomic Implications of Converter Basic Slag as a Magnesium Source on Acid Soils // *Soil Science Society of America Journal*. 2008. V.72(2). P. 402-411.
16. *Pistocchi C., Ragaglini G., Colla V., Branca T.A., Tozzini C., Romaniello L.* Exchangeable Sodium Percentage decrease in saline sodic soil after Basic Oxygen Furnace Slag application in a lysimeter trial // *Journal of Environmental Management*. 2017. V. 203, Part 3, P.896-906.
17. *Pietrini F., Iori V., Beone T., Mirabile D., Zacchini M.* Effects of a ladle furnace slag added to soil on morpho-physiological and biochemical parameters of *Amaranthus paniculatus* L. Plants // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. V. 329. P.339-347.
18. *Prado R. de M., Leal R M., Franco C. F., Braghirolli L.F.* Application of basic slag iron chromium in the reaction of a Dark Red Latosol // *Revista de Agricultura Piracicaba*. 2005.V.80(2). P.228-241.
19. *Radić S., Crnojević H., Sandev D, Jelić S., Sedlar Z., Glavaš K., Pevalek-Kozlina B.* Effect of electric arc furnace slag on growth and physiology of maize (*Zea mays* L.) // *Acta Biol Hung*. 2013. V.64(4). P.490-499.

Поступила в редакцию 10.04.2018; принята 14.06.2018;
опубликована 23.06.2018

Сведения об авторах:

Беланов Иван Петрович – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), bel_ivan@rambler.ru

Савенков Олег Александрович – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), oleg.a.savenkov@mail.ru

Наумова Наталья Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), nnaumova@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/)

PHYTOTOXICITY OF GROWTH SUBSTRATES BASED ON SOIL MIXED WITH METALLURGICAL SLAGS USED FOR RECULTIVATION

© 2018 I.P. Belanov, O.A. Savenkov, N.B. Naumova 

Address: Institute of Soil Science and Agro chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: bel_ivan@rambler.ru

The aim of the study. To estimate the influence of various metallurgical slags on the initial stages of plant growth and development.

The study location and time. Vegetation experiment was conducted in laboratory where during 2 weeks plants were grown on mixed soil-slag substrates under favourable air temperature and humidity, substrate moisture and illumination rate of 1500 lux.

Methodology. To conduct phytotoxicity testing we followed the protocol described by the federal standard GOST R ISO 22030-2009, using one species of the monocotyledonous plants (oats *Avena sativa* L., cultivar "Rovesnik") and one species of dicotyledonous plants (radish *Raphanus sativus* var. *Sativus*, cultivar "Saksa"). Four slags produced at the EVRAZ West Siberian plant by different technologies were used: white non-ferrous, blast furnace, converter and electrofurnace ones. The concentration of slags in soil-slag mixtures used as growth substrates, were 0 (soil); 12.5; 25; 50 and 100% (pure slag). The data obtained were analyzed by descriptive statistics and correlation analysis.

Main results. The growth and development of both radish and oats plants were not impeded by electrofurnace slag in all concentrations tested. The white non-ferrous was found to be phytotoxic for both species in high concentrations only (50 and 100%). The converter and blast furnace slags had phytotoxic effect on radish only in their pure form, while for oats growth these slags were found to be harmful at 50% concentration.

Conclusion. At the initial stages of plant growth and development three of the four studied metallurgical slags were found to have phytotoxic effect only in very concentrations in the substrates. Therefore to develop perspective technologies of slag use in reclamation we recommend to conduct longer vegetation and field experiments with lower slag concentrations for growing plants that can be really used for specific reclamation purpose, e.g. mixtures of legumes, grains and herbs, as well as woody bushes.

Key words: metallurgical slags; phytotoxicity; soil-slag mixtures; radish; oats

How to cite: Belanov I.P., Savenkov O.A., Naumova N.B Phytotoxicity of growth substrates based on soil mixed with metallurgical slags used for recultivation // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(2): 67–79. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Bobrova Z. M., Ilyina O. Yu., Hohryakov A. V., Tseitlin E. M. The use of mining and metallurgical wastes Using of metals and mining industrial wastes for the environmental management, *News of the Ural State Mining University*, 2015, V. 4(40), pp. 16-26 (in Russian).
2. *GOST ISO 22030-2009. Soil quality. Biological methods. Chronic toxicity in higher plants*. Moscow: Standardinform, 2010. 19p. (in Russian)
3. *DIN EN ISO 11269-2-2013. Soil quality. Determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants (ISO 11269-2:2012)*. Moscow: Standardinform, 2010, 19p. (in Russian)
4. Levkovich T.I., Mashenko T.V., Mevlidinov Z.A., Sinyavsky R.S. On the disposal of slag and the liberation of occupied territories in the city industrial zones, the use of slag in road construction, *Biospheric compatibility: people, region, technology*, 2017, No. 4 (20), pp. 113-122. (in Russian).
5. Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A. The Use of Metallurgy Waste for Improving the Phosphorus Nutrition and Increasing the Drought Resistance of Plants, *Agrochimiya*, 2003, No.5, pp. 42-47 (in Russian)
6. Svergouzova S.V., Vasilenko T.A. On the Problem of Using Cytogenetic Analysis in Biotesting, *Ecology and Industry of Russia*. 2005, No.10, pp.34-36 (in Russian)
7. Stepanova E.A., Akylova M.V. Metallurgical slag: the main directions of their use in the construction industry, *Information media of higher education establishment*, 2017, No.1(1), pp.52-55. (in Russian)
8. Schamari U. Environment protection and resource saving owing to iron and steel slags: an economical aspect, *Ferrous metals*, 2015, No.7(1003), pp. 54-56. (in Russian)
9. Boltakova N.V., Faseeva G.R., Kabirov R.R., Nafikov R.M., Zakharov Yu.A. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015, *Waste Management*, 2017, V.60, pp. 230-246.
10. Gawor L., Jonczy I. Possibilities of recycling of metallurgical slags and coal mining wastes and reclamation of dumping grounds in Upper Silesian Coal Basin (southern Poland), *Materials and Geoenvironment*, 2015, V. 62, pp. 271-276.
11. Gökalp İ., Uz V. E., Saltan M., Tutumluer E. Technical and environmental evaluation of metallurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications, *Transportation Geotechnics*, 2018, V. 14, .61-69.
12. Li J.-Y., Wang N., Xu R.-K., Tiwari D. Potential of Industrial Byproducts in Ameliorating Acidity and Aluminum Toxicity of Soils Under Tea Plantation, *Pedosphere*, 2010, V. 20, No5, pp.645-654.
13. Markandeya A., Shanahan N., Gunatilake D. M., Riding K.A., Zayed A. Influence of slag composition on cracking potential of slag-portland cement concrete, *Construction and Building Materials*, 2018, V. 164, pp. 820-829.
14. Melali A. R., Shariatmadari H. Application of steel making slag and converter sludge in farm manure enrichment for corn nutrition in greenhouse conditions, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 2008, V.11, No.42(B), pp.505-514.
15. Peregrina F., Mariscal I., Ordonez R., Gonzalez P., Terefe T., Espejo R. Agronomic Implications of Converter Basic Slag as a Magnesium Source on Acid Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 2008, V.72(2), pp. 402-411.
16. Pistocchi C., Ragagnini G., Colla V., Branca T.A., Tozzini C., Romaniello L. Exchangeable Sodium Percentage decrease in saline sodic soil after Basic Oxygen Furnace Slag application in a lysimeter trial, *Journal of Environmental Management*, 2017, V. 203, Part 3, pp.896-906.
17. Pietrini F., Iori V., Beone T., Mirabile D., Zacchini M. Effects of a ladle furnace slag added to soil on morpho-physiological and biochemical parameters of *Amaranthus paniculatus* L. *Plants, Journal of Hazardous Materials*, 2017, V.329, pp.339-347.
18. Prado R. de M., Leal R M., Franco C. F., Braghirolli L.F. Application of basic slag iron chromium in the reaction of a Dark Red Latosol, *Revista de Agricultura Piracicaba*, 2005, V.80(2), pp.228-241.
19. Radić S., Crnojević H., Sandev D, Jelić S., Sedlar Z., Glavaš K., Pevalek-Kozlina B. Effect of electric arc furnace slag on growth and physiology of maize (*Zea mays* L.), *Acta Biol Hung*, 2013, V.64(4), pp.490-499.

Received 10 April 2018;
accepted 14 June 2018;
published 23 June 2018.

About the authors:

Belanov Ivan P.– Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Recultivation in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), bel_ivan@rmblerl.ru

Savenkov Oleg A.– Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), oleg.a.savenkov@mail.ru

Naumova Natalia B. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), nnaumova@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/).



**ВКЛАД К.П. ГОРШЕНИНА В РАЗВИТИЕ АГРОПОЧВОВЕДЕНИЯ СИБИРИ
(К 130-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И 100-ЛЕТИЮ ОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА)**

© 2018 г. Л. В. Березин, Ю.А. Азаренко

*Адрес: ФГБОУ ВО Омский Государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина,
Институтская пл., д.1, г. Омск, 644008, Россия. E-mail: docberезин@yandex.ru*

В статье освещен выдающийся вклад профессора К.П. Горшенина в формирование и становление сибирской школы почвоведов и развитие агропочвоведения. Дано описание основных этапов научной деятельности Горшенина в годы его работы на кафедре почвоведения Омского сельскохозяйственного института. Показаны основные итоги научной деятельности в области географии, картографии, изучении генезиса, свойств и производственной характеристики почвенного покрова на территории от Урала до Байкала.

Ключевые слова: Горшенин К.П.; сибирская школа почвоведения; агропочвоведение

Цитирование: Березин Л.В., Азаренко Ю.А. Вклад К.П. Горшенина в развитие агропочвоведения Сибири (к 130-летию со дня рождения и 100-летию Омского государственного аграрного университета) // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.80–88.

ВВЕДЕНИЕ

Практические основы агропочвоведения в России по существу стали развиваться с середины XX века. После работ по широкому освоению целинных и залежных земель многие исследователи стали менять свои ранее сложившиеся взгляды на роль факторов почвообразования и плодородия, гумусное состояние почв, обработки почвы. Теоретической основой новых взглядов на эти проблемы послужило учение В.И. Вернадского о ноосфере Земли. На вновь освоенных землях после мощных пыльных бурь, местами полностью развеивался созданный веками и впервые обработанный пахотно пригодный слой. Это заставило пересмотреть сложившиеся веками принципы обработки почвы.

К этому времени стало очевидным обострение демографической ситуация на планете. Ускоренный рост населения Земли в XIX–XX вв. вошло в противоречие с ограниченным количеством пахотно пригодных земель. Острой дискуссии подверглись взгляды Т. Мальтуса, который первым в начале XIX в., вскрыл это противоречие и сделал антигуманный вывод о необходимости искусственного ограничения народонаселения. Но поскольку данные факты существовали, К.Э. Циолковский и его последователи стали обосновывать необходимость освоения человечеством соседних планет и искать возможность полета на иные звездные системы.

Эти взаимосвязанные проблемы существенно повлияли на развитие научных направлений почвоведения. Одним из создателей школы агропочвоведения в Сибири стал Константин Павлович Горшенин (1888–1981 гг.) – профессор, член-корреспондент ВАСХНИЛ, лауреат Ленинской премии. Он являлся учеником и соратником создателя первой в Сибири кафедры почвоведения профессора С.С. Неуструева (1874–1928 гг.). Его приемником стал Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н.Д. Градобоев. Научной школой подготовлено почти 20 докторов наук, каждый из которых внес существенный вклад в решение поставленных выше задач.

К.П. Горшенин родился в с. Барское Бузулукского уезда Самарской губернии. Выходец из крестьянской семьи, Константин Павлович благодаря своим способностям, трудолюбию и настойчивости добился высшего образования. В 1908 г. он поступил в Казанский университет, в 1910 г. перевелся в Петербургский университет на геологический факультет, который окончил в 1913 г.

Примечательны первые шаги Горшенина в молодую тогда науку – почвоведение. Курс почвоведения в университете читал Константин Дмитриевич Глинка. Имея глубокие знания в почвоведении, геологии, ботанике, палеонтологии и биологии, профессор так увлеченно рассказывал об

экспедициях по России, что заражал своими знаниями и убежденностью многих студентов, в том числе и К.П.Горшенина, который заинтересовался новой наукой (Викторов, 2004).

Еще будучи студентом, К.П.Горшенин в 1912 г. под руководством К.Д. Глинки работал в экспедиции по обследованию земель вдоль железной дороги Тюмень-Омск в качестве почвовед. Константин Павлович впервые попал в Сибирь и его поразила огромная, плоская равнина с бесчисленными болотами, озерами, колками, с почти нетронутой землей, богатой растительностью и разнообразным почвенным покровом. По материалам этих исследований Горшенин сделал доклад на Докучаевском почвенном комитете, отмеченный академиком А.П. Карпинским, и опубликовал свою первую статью в журнале «Почвоведение» (Викторов, 2004).



Рисунок 1. 1924 г. Обследование почв Сибири (руководитель работ К.П. Горшенин в центре)



Рисунок 2. 1927 г. Чумышская экспедиция



Рисунок 3. 1942 г. К.П. Горшенин редактирует листы почвенной карты СССР



Рисунок 4. 1954 г. Первая лекция К.П. Горшенина будущим агрономам об освоении целинных почв Сибири



Всю свою жизнь Константин Павлович Горшенин посвятил исследованиям и изучению почв Сибири. Итогом сорокалетней деятельности ученого явилась монография «Почвы южной части Сибири», удостоенная Ленинской премии. Константин Павлович не только ученый, он опытный педагог: тридцать восемь лет возглавлял кафедру

Рисунок 5. Лекция К.П. Горшенина около почвенных монолитов - гордости созданного им почвенного музея почв Сибири

В 1915 г. К.П. Горшенин работал в Петрограде в Почвенном институте у профессора К.К. Гедройца ассистентом, где освоил химические и физико-химические методы исследования почв. Одновременно он исполнял обязанности ассистента на Высших географических курсах при Петроградском университете, где познакомился со своей будущей супругой Анной Михайловной Ворониной. В это же время он сблизился с профессором С.С. Неуструевым – главным почвоведом Переселенческого управления.

В годы Гражданской войны в период полевых работ в Поволжье они были арестованы колчаковскими отрядами и переправлены в Томск. В Омске С.С. Неуструев и его молодой коллега К.П. Горшенин оказались в связи с организацией в 1918 г. первого в Сибири сельскохозяйственного института. Ими здесь была впервые для сибирского региона организована кафедра почвоведения.

После разгрома Колчака в 1922 г. С.С. Неуструев возвратился в Ленинградский университет, а К.П. Горшенин был избран заведующим кафедрой почвоведения Омского СХИ. В 1924 г. ему было присвоено звание профессора и поручена ответственная должность проректора по науке.

Под руководством К.П. Горшенина кафедра почвоведения становится одной из ведущих в институте, настоящим центром научной, методической и производственной работы. Вместе с работниками кафедры он обследовал почвы Омской области, Алтая, Чуйского тракта, Кулунды, Барабинской степи, Минусинской котловины, Хакасии, Прибайкалья. Многие из этих районов были белыми пятнами на карте Сибири.

Наиболее крупный этап изучения и картографирования почв Сибирского края начинается в 1928 г., когда было организовано Сибирское отделение Государственного почвенного института НКЗ. Силами созданного им коллектива почвоведов, ботаников и землеустроителей под его непосредственным руководством проведено обследование и организационно-хозяйственное устройство первых колхозов, совхозов и МТС на территории от Урала до Дальнего Востока. Под руководством К. П. Горшенина были обследованы земли и составлены крупномасштабные карты на площади более 35 млн. га, составлено 6 листов государственной почвенной карты.

Второй крупный этап (1937-1940 гг.) включал вопросы выбора 125 сортоиспытательных участков (ГСУ) и исследование их почвенного покрова. Эти детальные работы по изучению почвенного покрова, проведенные по единой методике, разработанной им, стали большим вкладом в дело познания сибирских почв и в настоящее время используются для целей многолетнего их мониторинга.

Вместе со своей спутницей жизни почвоведом А.М. Ворониной Константин Павлович исколесил всю южную Сибирь и научными изысканиями опроверг сложившееся мнение ученых, знакомившихся в XVIII-XIX вв. с природными условиями сибирского края, о быстром выпахивании маломощных почв и нецелесообразности развития здесь земледелия. Последующее развитие сельского хозяйства региона полностью подтвердило прогнозы «КП», как звали за глаза все его коллеги.

Достаточно проанализировать результаты работы сортоиспытательных участков, которые были организованы и обеспечены детальными почвенными картами при непосредственном участии К.П. Горшенина. Полученные на сортоучастках Омской области данные за 35 последних лет истекшего века в условиях максимального соблюдения требований зональной агротехнологии с учетом особенностей почвенного покрова, свидетельствует о возможности повышения урожайности сельскохозяйственных культур в любой зоне при соблюдении требований адаптации их агротехнологии к ландшафтными и экологическим особенностям в 2-3 раза по сравнению с получаемой урожайностью на полях рядовых хозяйств.

На первом в Прииртышье поле, распаханном в 1594 г. севернее г. Тары (через 15 лет после прихода в Сибирь отрядов Ермака) сейчас располагается Тарский сортоиспытательный участок. Средняя урожайность зерновых культур здесь за 30 лет с 1966 по 1998 гг. составила 2,05 т/га, что на 6% выше, чем в среднем по всем сортоиспытательным участкам Омской области (Березин, 2012, с.18-19).

Более того, за 400 лет использования агротемно-серой почвы, считавшейся исключительно легко «выпахиваемой», урожайность зерновых оказалась на таком же уровне, как на агрочерноземе глинисто-иллювиальном (черноземе выщелоченном) Большереченского сортоучастка (1,92 т/га), расположенном на 120 км южнее. Целинная почва здесь была освоена крестьянами, выходцами из этого же села, но только 100 лет спустя (Колесников, 1999).

Даже после сокращения работ по интенсификации земледелия в период 1996-2000 гг., средняя урожайность яровой пшеницы на агросерых почвах Тарского сортоучастка не снизилась, а оказалась выше по сравнению с ранее рассматриваемым периодом. Эта урожайность по существу характеризует эффективный уровень плодородия преобладающих в этих зонах почв (табл. 1).

Таблица 1. Факторный анализ урожайности яровой пшеницы на сортоучастках Омской области, 1996-2000 г.

Зона	Преобладающая почва и порядковый номер сортоиспытательного участка (по списку)*	Средняя урожайность, т/га	Доля влияния фактора, %		
			А-сорт	В-погодные условия	АВ
Степная	Агрочернозем криогенно-мицелярный (1, 2)	1,59-1,74	1-4	90-91	5-6
Южная лесостепная	Агрочернозем криогенно-мицелярный квазиглеевый (3)	3,2	15	51	28
Северная лесостепная	То же (4, 5)	3,6	8	75	15
То же	Агросолонец темный средний (6)	2,8	2	94	2
Подтаежная	Агротемно-серая типичная (7)	2,5	12	66	18

Примечание:

*Названия сортоучастков: 1 – Русско-Полянский; 2 – Павлоградский; 3 – Москаленский; 4 – Большереченский; 5 – Горьковский; 6 – Называевский; 7 – Тарский.

Компонентный анализ влияния доли факторов изменчивости урожая при сортоиспытании яровой пшеницы, проведенный на рубеже веков, характеризует потенциальный уровень продуктивности почв в современных условиях. Оказалось, что даже после сокращения в конце истекшего века затрат на интенсификацию за счет строгого учета требований агротехнологии на сортоучастках был получен относительно высокий урожай яровой пшеницы 2,5-2,8 т/га. не только на агросерой почве Тарского района, и на низко-плодородном среднем агросолонце Называевского района. Этот анализ свидетельствует о том, что в условиях Сибири реально планировать достижение урожайности зерновых культур на агрочерноземах лесостепной зоны, приближающийся к уровню лучших почв России в Краснодарском крае.

В 1938 г. К.П. Горшенину была присвоена ученая степень доктора сельскохозяйственных наук без защиты диссертации по совокупности научных работ. В отзывах о работах Горшенина известный географ-почвовед Л.И. Прасолов писал: «Работы Горшенина посвящены исключительно почвам Сибири, представляя редкий случай, когда ученый целиком отдавал все силы изучению одной, но значительной по пространству области страны».

В годы войны работы по оценке ресурсов плодородия почв Сибири, которая кормила всю страну, не прекращались. В 1942 г. К.П. Горшенин был удостоен звания заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, затем избран членом-корреспондентом ВАСХНИЛ.

Константин Павлович консультировал работы Южно-Енисейской экспедиции СОПС АН СССР (1947-1950 гг.), Кулундинско-Иртышской экспедиции АН СССР (1952 г), выбор почв для освоения целинных и залежных земель в Омской области и Северном Казахстане (1954 г).

К.П. Горшенин оставил большое научное наследие: 125 работ, посвященных изучению географии, генезиса, эволюции, классификации и плодородия почв Сибири. Большое значение в этом отношении имеют монографии «Почвы черноземной полосы Западной Сибири» (1927 г), «География почв Сибири» (1939 г), «О методике составления государственной почвенной карты» (1950 г.).

Наиболее известной и крупной его работой является «Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала)» (1955 г), удостоенная в 1957 г премии имени академика В. Р. Вильямса и в 1958 г. Ленинской премии (Горшенин, 1955). Книга была переведена на английский язык и стала доступна читателям всего мира.

Вся сумма знаний того времени о почвах и природе Сибири нашла отражение в данной монографии и составленной почвенной карте. В книге были даны новые принципиальные положения, вытекающие из задач агропочвоведения. В предисловии к ней автор пишет: «...настоящая монография является первым и пока единственным трудом, в котором освещаются почвы Сибири от Урала до оз. Байкал. В известной степени она будет полезна как в деле планирования и размещения сельскохозяйственного производства, так и в разработке основных мероприятий по повышению плодородия сибирских почв» (Горшенин, 1955, с. 6).

К.П. Горшенин отстаивает положение агропочвоведения о том, что почвенная картография должна не только отражать пространственное расположение тех или иных почв, но одновременно показывать различия производственных возможностей занимаемых ими территорий. Он дает комплексную характеристику ландшафтов Сибири, включая геолого-геоморфологические условия, имеющие важное значение для почвообразования и сельскохозяйственного производства.

В работах К.П. Горшенина освещается важная идея – научное обоснование дифференцированного подхода к решению вопросов, связанных с развитием сельского хозяйства. Сам он обозначил ее так: «Главнейшей задачей изучения почв является познание их основного свойства – плодородия. Мне кажется, что наша слабость в этом вопросе является не столько показателем уровня наших знаний, сколько результатом пренебрежительного отношения к вопросам плодородия и излишнего увлечения географизмом, стремлением установить как можно больше всякого рода закономерностей и градаций без учета их практической потребности». В статье-дискуссии «О некоторых недостатках в почвенной науке», присланной президенту Всесоюзного общества почвоведов И.П. Герасимову, говоря об утрате передовых позиций советского почвоведения на международной арене и в вопросах помощи производству, К.П. Горшенин делает один из выводов: «Изучение почв должно проводиться так, чтобы из него вытекали основные мероприятия по повышению почвенного плодородия» (Горшенин, 1953).

Многие научные направления в исследовании сибирских почв на кафедре почвоведения ОмСХИ были начаты по инициативе Горшенина. В ходе этих исследований формировалась мощная научная школа сибирских почвоведов. Благодаря блестящим педагогическим и организаторским способностям Константин Павлович воспитал многочисленных учеников,

продолжающих его научное направление (Горшенин, 1957; Горшенин, 1965). В это время на кафедре были продолжены исследования особенностей западносибирских черноземов и лугово-черноземных почв (Богданов Н. И., Гоф В. Ф.). Генезис и свойства солодей исследованы доцентом Н.А. Колесовым. Почвоведы Н.М. Голяков и П.И. Серебрянская раскрыли особенности заболоченных почв региона.

Ближайшим учеником и достойным преемником Горшенина в области агропочвоведения был Градобоев Николай Дмитриевич – крупный исследователь почв Сибири и организатор почвенной науки. Он внес большой вклад в изучение почв Красноярского края, Хакасии, Омской области, отраженный в 130 работах. В 1964 г. по его инициативе был создан факультет агрохимии и почвоведения, Н.Д. Градобоев стал его первым деканом. В те же годы он был проректором по научной работе Омского сельскохозяйственного института. В 1964-1975 гг. руководил кафедрой почвоведения, воспитав немало талантливых учеников, защитивших кандидатские диссертации. Под его непосредственным руководством сформировались научные взгляды профессора Л.В. Березина – специалиста по мелиорации солонцовых почв и использованию в сельском хозяйстве космической информации (Березин, 2005; Березин, 2013).

Были начаты большие исследования по изучению эрозионных процессов (Н.Д. Градобоев, Я.Р. Рейнгард), о вероятности которых Горшенин предупреждал еще в годы первого советского предвоенного этапа подъема целины (1936 г). В кратчайшие сроки, организованный им творческий коллектив ученых омских организаций, разработал рекомендации по борьбе с водной и ветровой эрозией почв и при активной помощи партийных и советских органов, возглавляемых С.И. Манякиным, обеспечил полное их внедрение во всех хозяйствах области.

Научные работы по изучению эрозионных процессов и деградации земель были продолжены Я.Л. Рейнгардом – профессором Омского агроуниверситета. Им были развиты теоретические взгляды С.С. Неуструева об этапах эрозионного развития почвенного покрова (Рейнгард, 2009).

Десятки ученых всех степеней и рангов, прошедшие научную подготовку у Горшенина, активно работали не только в Сибири, но и по всей стране. Из К.П. Горшенинской школы вышли доктора наук В.В. Берников, А.С. Мигуцкий, Л.Л. Щетинина, М.С. Цыганов, С.С. Трофимов, М.Г. Танзыбаев, П.И. Крупкин и др. и целая плеяда кандидатов наук, внесших заметный вклад в развитие сибирского почвоведения.

За 60 лет педагогической работы в Омском сельскохозяйственном институте К.П. Горшенин дал знания тысячам специалистов сельского хозяйства, которые, прослушав яркие и содержательные лекции, с теплотой и любовью вспоминают своего учителя. В книге «Нашу землю нам и беречь» выпускник ОмСХИ М.И. Сильванович пишет: «Будучи студентом СХИ я слушал лекции Горшенина ... Читая лекции, он почти на половину своего высокого роста возвышался над кафедрой. Был всегда опрятен от сверкающей бритой головы до ботиночных рантов. Всем внешним видом он являл образ истинного интеллигента. В его лекциях присутствовал и плод мудрости – простота, и присущий большим ученым строгий логический порядок фактов, и прекрасный опозитизированный образ земли. Природа отвечает только тому, кто умеет ее спрашивать – любимая фраза лектора».

В 1965 г. создается проблемная лаборатория по мелиорации солонцов ОмСХИ, которая в лице его учеников (Н.Д. Градобоева – первого заведующего, Л.В. Березина, А.И. Парфенова, Н.В. Семендяевой, Р.А. Витмана, А.И. Семенкина и многих других) продолжила разработку новых подходов и научных рекомендаций по использованию и улучшению этих низко продуктивных почв. В начале XXI века она переросла в лабораторию рационального использования почв.

При изучении изменения гумусового состава мелиорируемых почв, было установлено, что в сибирских почвах доля законсервированного органического вещества, которое нерастворимо ни в кислотах, ни в щелочах, значительно выше, чем в почвах европейской части страны (Градобоев, 1960, с. 175). Пока факторы этого явления и его следствия неясны. Что может дать человечеству раскрытие закономерностей консервации накопленных растениями органических веществ пока не известно, но, безусловно, решение этой задачи становится одной из новых актуальных задач агроэкологии.

Близка к ней и задача поглощения агроэкосистемами энергии солнечной радиации. 100 лет назад великий российский ученый К.А. Тимирязев раскрыл механизм фотосинтеза органических веществ в хлорофилловом зерне растений. Через 50 лет крупный ученый В.Р. Волобуев вскрыл экологические закономерности преобразования в растениях органического вещества, но источник этой энергии – лучистая энергия Солнца, оставался недоступным. Об этой перспективной задаче

агропочвоведения неоднократно упоминал в своих лекциях по почвоведению К.П. Горшенин, слушателем которых в 50-е гг. прошлого века был один из авторов данной публикации.

Новый XXI век ознаменовался развитием дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космическими аппаратами многих стран. Различаясь по разрешающей способности и спектру съемки, эти аппараты с каждым годом совершенствуют получаемую космическую информацию. Новыми работами Омской научной школы агропочвоведения установлено, что сопоставляя состав спектра космической съемки и отраженного наземного объекта можно оценить величину энергии, поглощенную наземными объектами (Л.В. Березин, М.Р. Шаяхметов, А.М. Гиндемит).

Доля солнечной энергии, расходуемая на фотосинтез, и в целом величина ФАР не превышает 1 %. Но новые селекционные сорта зерновых и ряда других культур, увеличивающих уровень урожайности в три-пять раз, имеют величину ФАР до 5 %. А куда расходуется 95 % солнечной энергии, поглощаемой безвозвратно? Можно предположить, что основная часть данной энергии расходуется на активизацию почвенных процессов передвижения влаги, образование и передвижение доступных растениям элементов питания и временную консервацию органических веществ почвы.

Вклад Константина Павловича Горшенина в изучение почвенных ресурсов Сибири неоценим. Основным направлением его научных работ являлись география почв, их плодородие и перспективы дальнейшего освоения. Его большое научное наследие, освещающее многообразие и самобытность почв Сибири от Урала до Байкала является золотым фондом сибирского и российского почвоведения. Все исследования, проводимые К.П. Горшениным и руководимые им, имели цель не только изучение почв как геобиологического естественно-исторического объекта, но в первую очередь, как средства сельскохозяйственного производства. Эта работа патриарха сибирского почвоведения стала неотъемлемой частью агропочвоведения, которое успешно развивается его многочисленными учениками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Викторов И. К.* Человек с планеты Земля. Омск: Изд-во ОмГАУ, 2004. 85 с.
2. *Березин Л.В.* Авангард сибирского земледелия. (К истории земледелия Сибири). Омск: Изд-в ИП Е.А. Макшеевой, 2012. 132 с.
3. *Колесников А.Д.* Омская пашня. Заселение и земледельческое освоение Прииртышья. Омск: Моя земля, 1999. 105 с.
4. *Горшенин К. П.* Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала). М.: Изд-во АН СССР, 1955. 591 с.
5. *Горшенин К.П.* Работа почвоведов Омского сельскохозяйственного института // *Почвоведение*. 1953. № 4. С. 88-90.
6. *Горшенин К. П.* Итоги почвенных исследований в Сибири // *Почвоведение*. 1957. № 12. С. 35-44.
7. *Горшенин К.П.* О некоторых недостатках в почвенной науке // *Почвоведение*. 1965. № 12. С. 91-97.
8. *Березин Л.В.* Мелиорация и использование солонцов Сибири: монография. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 208 с.
9. *Березин Л.В., Сапаров А.С., Кан В.М., Шаяхметов М.Р.* Технология комплексной мелиорации экосистем России и Казахстана. Алматы-Омск, 2013. 215 с.
10. *Рейнгард Я.Р.* Деградация почв экосистем юга Западной Сибири. Лодзь-Польша, 2009. 636 с.
11. *Градобоев Н.Д., Прудникова В.М., Сметанин И.С.* Почвы Омской области, Омск: Ом. кн. изд-во, 1960. 373 с.

*Поступила в редакцию 11.05.2018;
принята 18.05.2018,
опубликована 23.06.2018*

Сведения об авторах:

Березин Леонид Владимирович – доктор биологических наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (г.Омск, Россия); docberезin@yandex.ru

Азаренко Юлия Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (г.Омск, Россия); yua.azarenko@omgau.org

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

THE ROLE OF GORSHENIN K.P. IN THE DEVELOPMENT OF AGRONOMY AND SOIL SCIENCE IN SIBERIA (DEVOTED TO THE 130TH ANNIVERSARY OF K.P. GORSHENIN AND 100TH ANNIVERSARY OF THE OMSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY)

© 2018 L.V. Berezin, Yu. A. Azarenko

Address: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

E-mail: docberezin@yandex.ru

The article describes in detail the prominent contribution of Professor K.P. Gorshenin into the establishment and development of the Siberian school of soil scientists and agronomic pedology, giving also the main events of Gorshenin's professional biography and scientific activity during his work at the Department of Soil Science of the Omsk Agricultural Institute. The main results of his research in the field of geography, cartography, genesis, properties and fertility characteristics of Siberian soils of the vast area from the Urals to the Lake Baikal are provided.

Key words: Gorshenin K.P.; Siberian School of Soil Science; agronomy; soil science

How to cite: Berezin L.V., Azarenko Yu.A. The role of K.P. Gorshenin in the development of agronomy and soil science in Siberia (devoted to the 130th anniversary of Gorshenin K.P. and 100th anniversary of the Omsk State Agrarian University) // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(2): 80–88. (in Russian with English abstract)

REFERENCES

1. Viktorov I.K. Man from the planet Earth. Omsk: OmSAU Pubs., 2004. 85 p. (in Russian)
2. Berezin L.V. The avant-garde of Siberian agriculture (about the history of agriculture in Siberia). Omsk: E.A. Maksheeva Pubs., 2012. 132 p. (in Russian)
3. Kolesnikov A.D. Omsk arable land. People settle and agricultural use of near-Irtysh areas. My land Omsk. 1999. 105 p. (in Russian)
4. Gorshenin K.P. Soils in the southern part of Siberia (from the Urals to the Baikal). Moscow: USSR AS Pubs., 1955. 591 p. (in Russian)
5. Gorshenin K.P. The work of soil scientists of the Omsk Agricultural Institute, *Pochvovedenie*, 1953, No 4, p. 88-90. (in Russian)
6. Gorshenin K.P. Results of soil studies in Siberia, *Pochvovedenie*, 1957, No 12, p. 35-44. (in Russian)
7. Gorshenin K.P. About some shortcomings in soil science, *Pochvovedenie*, 1965, No 12, p.91-97. (in Russian)
8. Berezin L.V. Melioration and solonetz use in Siberia. Omsk: OmSAU Pubs, 2005. 208 p. (in Russian)
9. Berezin L.V., Saparov A.S., Kan V.M., Shayakhmetov M.R. The technology of combined melioration of the ecosystems of Russia and Kazakhstan. Almaty-Omsk, 2013. 215 p. (in Russian)
10. Reingardt Ya. R. Soil degradation in ecosystems in the south of West Siberia. Lodz-Poland, 2009. 636 p. (in Russian)
11. Gradoboev N. D., Prudnikova V.M., Smetanin I.S. The soils of the Omsk region. Omsk: Omsk Book Pubs., 1960. 373 p. (In Russian)

Received 11 May 2018;

Accepted 18 May 2018;

Published 23 June 2018

About the authors:

Berezin Leonid V. – Doctor of Biological Sciences, Professor of Soil Science and Agrochemistry Chair of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Omsk, Russia); docberezin@yandex.ru

Azarenko Yuliya A. – Candidate of Agricultural Sciences, of Soil Science and Agrochemistry Chair of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Omsk, Russia); azarenko.omgau@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/)

К 100-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА СЕРГЕЯ СЕРГЕЕВИЧА ТРОФИМОВА© 2018 В.С. Артамонова , В.А. Андроханов *Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2 г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: artamonova@issa.nsc.ru**В статье приведены основные сведения о жизненном пути замечательного почвоведца, профессора Сергей Сергеевича Трофимова – фронтовика, прекрасного учёного и учителя, неутомимого борца за сохранение и восстановление природных ресурсов Сибири.***Ключевые слова:** Трофимов Сергей Сергеевич; почвовед; 100-летие; жизненный путь**Цитирование:** Артамонова В.С., Андроханов В.А. К 100-летию профессора Сергея Сергеевича Трофимова // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С. 89– 92.

Приближается юбилей известного ученого-почвоведца, профессора, доктора биологических наук Сергея Сергеевича Трофимова, большая часть жизни которого связана с Институтом почвоведения и агрохимии СО АН СССР (ныне СО РАН).

В 1968 г., благодаря поддержке председателя Сибирского отделения АН СССР, академика М.А. Лаврентьева, Отдел почвоведения Биологического института СО АН СССР стал фундаментом вновь созданного академического Института почвенно-агрохимического профиля. С момента организации ИПА СО АН СССР С.С. Трофимов возглавил лабораторию рекультивации почв и был её бессменным заведующим до преждевременного ухода в 1988 г.

3 (5) марта 1918 года в городе Вольске Саратовской области родился С.С. Трофимов. В документах, с которыми работали авторы при написании данной статьи, встречаются расхождения в датах тех или иных событий. Что касается дня рождения, то, как рассказала нам дочь Сергея Сергеевича, Ирина Сергеевна Андреева, «путаница возникла не случайно, связана она с датой смерти Сталина (5 марта). Праздновать

"до" или "после" – это был большой вопрос. Я хорошо помню этот день 1953 года. Мы жили тогда в г. Омске. Совсем ребенком за руку с родителями среди многих других людей я стояла на улице. Все вслушивались в слова, доносившиеся из репродуктора. День был серый, промозглый, с веток деревьев капала вода. Многие плакали. Было понятно, что происходит необратимое и страшное... До этого несколько дней взрослые о чем-то озабоченно шептались по вечерам, в день рождения отца (3 марта) сидели за столом очень тихо и тоже общались шепотом... Так и появилась неопределенность с датой рождения".

Воспитывала С.С. Трофимова мать, Трофимова София Павловна, преподаватель иностранных языков (английского, немецкого, украинского), которым научила и сына. Отец, Трофимов Сергей Константинович, умер в год его рождения от тифа.

В 1938 г. С.С. Трофимов поступил на геолого-почвенно-географический факультет Саратовского государственного университета, однако уже в декабре 1939 г. был включён в состав 113-го комсомольского добровольческого лыжного батальона РККА и отправлен на войну с белофиннами (советско-финский вооруженный конфликт 1939–1940 гг.). Добровольцы батальона – рабочие и студенты ВУЗов, преимущественно спортсмены, отличники физической культуры, которых набирали в добровольно-принудительном порядке. Работа шла без специальных публикаций в печати и объявлений по радио, путем индивидуальных бесед. Добровольцы принимали участие в военных действиях в качестве дозоров, фронтовой разведки, ударной силы при штурме укрепленных районов обороны противника, при освобождении островов, в составе санитарных бригад.

Впервые в этой войне «лыжбатовцы» использовали нартовые упряжки с собаками, обеспечивая подвоз снаряжения, вывоз раненых из горячих точек. Поэтому не случайно, что вся послевоенная жизнь Сергея Сергеевича неразрывно связана с четвероногими друзьями. Собаки Фрам и Юкс постоянно сопровождали его в экспедициях.

За несколько дней до окончания войны С.С. Трофимов был контужен, попал в госпиталь и всю оставшуюся жизнь плохо слышал.

После госпиталя С.С. Трофимов был командирован в г. Тамбов в распоряжение Управления землеустройства как студент-почвовед для прохождения производственной практики. Ему выдали командировочное удостоверение и направили для обследования почв в колхозах в качестве техника-почвоведа. В предписании было указано, что после практики необходимо вернуться в Саратовский университет для продолжения академических занятий. Однако этому не суждено было случиться.

22 июня 1941 года началась Великая Отечественная война. В связи с боевыми действиями С.С. Трофимова снова призвали в армию (его воинское звание – старшина), но вскоре сняли с воинского учета по старой контузии. Этот год стал для него и годом окончания университета по специальности «агрочвоведение», однако с 1942 по 1945 гг. он служил в войсках НКВД, а после войны до 1951 г. работал в должности агронома и директора опытной станции на сельскохозяйственных предприятиях, подведомственных наркомату внутренних дел.

В 1951 г. С.С. Трофимов поступил в аспирантуру кафедры почвоведения Омского сельскохозяйственного института; его научным руководителем стал профессор К.П. Горшенин. Учебу в аспирантуре С.С. Трофимов успешно совмещал с работой по почвенному обследованию хозяйств на территории Кемеровской и Омской областей, проводил химические и физические анализы почв в лабораториях Омского СХИ и Мариинской сельскохозяйственной опытной станции.

После окончания аспирантуры в 1954 г. С.С. Трофимов работал в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (г. Омск) в должности ученого секретаря, затем – старшего научного сотрудника отдела агропочвоведения, затем – заведующего отделом земледелия. Он руководил работами по изучению земельных ресурсов Омской и Кемеровской областей и на основании полученных материалов совместно с профессором И.Д. Градобоевым составил среднemasштабные почвенные карты Омской и Кемеровской областей.

В 1958 г. С.С. Трофимов защитил кандидатскую диссертацию «Почвы Мариинской лесостепи и их изменение при сельскохозяйственном использовании», в которой показал, как изменяются свойства черноземов и серых лесных почв Мариинско-Ачинской лесостепи под влиянием различных систем обработки и длительного применения удобрений.

В 1961 г. С.С. Трофимов был избран по конкурсу на должность старшего научного сотрудника Отдела почвоведения Биологического института СО АН СССР (г. Новосибирск). Дальнейшая его судьба была связана с Институтом почвоведения и агрохимии СО АН СССР, созданным на базе Отдела почвоведения. Совместно с профессором Р.В. Ковалевым он активно занялся почвенным районированием Кемеровской и Новосибирской областей и Западной Сибири в целом, активно участвовал в подготовке монографий «Почвы Новосибирской области» и «Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири».

При образовании Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР в 1968 г. С.С. Трофимов был назначен заведующим лабораторией рекультивации почв, которую и возглавлял до конца жизни (1988 г.). За эти 20 лет коллективом лаборатории под руководством Сергея Сергеевича были разработаны принципы систематизации неорельефа, вскрышных пород и их элювиев для техногенных ландшафтов; выявлено, что формирование почвенного покрова в них осуществляется под функциональным контролем окружающих их исходных биогеоценозов, а молодые почвы – это «пусковой механизм» сингенетических сукцессий всех компонентов биоты таких ландшафтов.

В 1971 г. С.С. Трофимов защитил докторскую диссертацию «Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области». В своей диссертации он привел новые сведения об экологической приуроченности почв Кемеровской области к конкретным ландшафтам, различающимся по биологической продуктивности, типам круговорота веществ; подробно описал генезис и свойства горных лесных почв таежных экосистем Горной Шории, Салаира и Кузнецкого Алатау, которые отнес к предподзолистой стадии развития; показал, что развитие подзолистого процесса в этих почвах ограничивается высокими темпами биологического круговорота веществ, обильным поступлением оснований при минерализации опада, а также выветриванием первичных минералов. В работе дана развернутая схема почвенно-географического районирования Кемеровской области, качественная характеристика ее земельного фонда

по административным районам. В 1980 г. доктору биологических наук С.С. Трофимову было присвоено ученое звание профессор.

В многолетних исследованиях С.С. Трофимова, при его непосредственном участии или под руководством, были вскрыты особенности современного почвообразования в техногенных ландшафтах Сибири, обоснованы теоретические подходы к биологической рекультивации нарушенных земель, предпринято мониторинговое изучение вопросов лесомелиорации и сельскохозяйственных угодий на отвалах. Проведены многочисленные комплексные работы по изучению свойств и режимов молодых почв, специфики формирования в них гумуса, становления экологических функций. Обследованы почвоподобные образования на вскрышных породах каменного и бурого угля, гравийные карьеры, полигоны рудных и золошлаковых отходов, составлены инструктивные документы по почвенно-литологическому обследованию пород, даны рекомендации по использованию их потенциального плодородия в лесной и сельскохозяйственной рекультивации.

Результаты научных исследований С.С. Трофимова, в том числе в соавторстве с другими учеными, опубликованы в 160 печатных работах, включая несколько монографий. Многие из них до сих пор цитируются, так как не потеряли актуальности (Трофимов, 1975; Трофимов и др., 1986; и др.).

В 1985 г. доктору биологических наук профессору Трофимову Сергею Сергеевичу в составе коллектива авторов была присуждена Первая премия Совета министров СССР за разработки по рекультивации почв, нарушенных промышленностью.

Сергей Сергеевич активно занимался научно-организационной и научно-педагогической деятельностью. Он был почётным членом Всесоюзного общества почвоведов, членом ряда диссертационных советов, активным участником многих всесоюзных и международных конгрессов, симпозиумов, съездов, конференций. Под его руководством были выполнены и успешно защищены несколько кандидатских диссертаций. С.С. Трофимов был ответственным редактором многих коллективных монографий и других трудов (Инструкция..., 1979; Почвообразование..., 1979; Краткий толковый словарь ..., 1980; Биологическая рекультивация ..., 1981).

С.С. Трофимов награжден награждён медалями «За победу над Германией», «30 лет Советской Армии», медалью «100 лет со дня рождения И.В. Мичурина», удостоен I-й премии Совета Министров СССР за разработку и внедрение высокоэффективных методов и технологических схем рекультивации нарушенных земель, другими медалями, почетными грамотами и премиями.

Вклад в науку профессора С.С. Трофимова чрезвычайно велик. Решая важные научные задачи, он готовил научные кадры, передавал свои знания и опыт молодым специалистам, сохраняя преемственность поколений. Его ученик доктор биологических наук Владимир Алексеевич Андроханов в настоящее время заведует лабораторией рекультивации почв ИПА СО РАН. Он сохранил дух традиций лаборатории, заложенных прежним руководителем – Сергеем Сергеевичем Трофимовым.

Нам, авторам статьи, посчастливилось лично общаться с Сергеем Сергеевичем. Мы благодарим судьбу за то, что она свела нас с таким замечательным ученым и научным наставником. С чувством огромной благодарности посвящаем эту статью его памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1975. 300 с.
2. Трофимов С.С., Наплёкова Н.Н., Кандрашин Е.Р., Фаткулин Ф.А., Стебаева С.К. Гумусообразование в техногенных экосистемах. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1986. 199 с
3. Инструкция по почвенно-литологическому обследованию техногенных ландшафтов Сибири / Под ред. С.С. Трофимова. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1979. 32 с.
4. Краткий толковый словарь по рекультивации земель / Под ред. С.С. Трофимова, Л.В. Моториной. Новосибирск: Наука Сиб. Отд., 1980. 34 с.
5. Биологическая рекультивация земель в Сибири и на Урале (рекомендации и экспериментальные схемы). Новосибирск: Сиб. Отд., 1981. 113 с.
6. Почвообразование в техногенных ландшафтах / Под ред. С.С. Трофимова. Новосибирск: Сиб. Отд., 1979. 293 с.

*Поступила в редакцию 03.05.2018;
принята 30.05.2018,
опубликована 23.06.2018*

Сведения об авторах:

Артамонова Валентина Сергеевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия, artamonova@issa.nsc.ru

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия, androhan@rambler.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/)

THE CENTENNIAL OF PROFESSOR SERGEY SRGEEVICH TROFIMOV

© 2018 V.S. Artamonova , V.A. Androhanov 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: artamonova@issa.nsc.ru

The article presents the main biographical information about Professor Trofimov Sergey Sergeevich, who was a great scientist, excellent teacher, outstanding pedologist, relentless champion for preservation and sustainable maintenance of natural resource. He also developed the first fundamental basis for recultivation of soils and soil cover on the technogenic neorelief in Siberia.

Key words: *Trofimov Sergey Sergeevich; soil scientist; 100-th anniversary; biography*

How to cite: *Artamonova V.S., Androhanov V.A. The centennial of professor Sergey Sergeevich Trofimov // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(2): 89– 92. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. *Trofimov S.S. Soil ecology an soil resources of the Kemerovo region.* Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch. 1975. 300 p. (in Russian).
2. *Trofimov S.S., Naplekova N.N.,Kandrashin E.R. Fatkulin F.A., Srebaeva S.K.* Humus formation in technogenic ecosystems. Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch. 1986. 199 p. (in Russian)
3. A manual for soil and lithological examination of technogenic landscapes in Siberia / *Trofimov S.S, Ed.* Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch. 1979. 32 p. (in Russian)
4. Short dictionary of land recultivation terms / *Trofimov S.S.,Motorina L.V., Eds.* Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch. 1980. 34 p. (in Russian)
5. Biological recultivation of lands in Siberia and the Urals region (recommendations and testing designs) Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch. 1981. 113 p. (in Russian)
6. Soil formation in technogenic landscpes Siberia / *Trofimov S.S., Ed.* Novosibirsk, Nauka Pbs. Siberian Branch.1979. 293 p. (in Russian)

*Received 03.05.2018;
accepted 30.05.2018;
published 23 June 2018*

About the authors:

Artamonova Valentina S. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Reclamation in Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); artamonova@issa.nsc.ru

Androhanov Vladimir A. – Doctor of Biological Sciences, Deputy Director of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); androhan@rambler.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/)

**ИРИНА ЯКОВЛЕВНА МАСЛОВА – ЗАСЛУЖЕННЫЙ АГРОХИМИК ИПА СО РАН**

© 2018 И.Н. Шарков

Адрес: ФГБУН Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского научного центра агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск Новосибирской области, 630501, Россия . E-mail: humus3@yandex.ru

В статье приведены основные сведения о профессиональной деятельности замечательного ученого, доктора биологических наук Масловой Ирины Яковлевны - прекрасного агрохимика и почвоведом, много лет посвятившей детальному изучению серы в почвах Сибири, плодотворно проработавшей в ИПА СО РАН (СО АН СССР) со дня его основания по настоящее время.

Ключевые слова: Маслова Ирина Яковлевна; агрохимия; почва; сера

Цитирование: Шарков И.Н. Ирина Яковлевна Маслова – заслуженный агрохимик ИПА СО РАН // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.93–97.



26 октября 2017 года отмечался юбилей Ирины Яковлевны Масловой – доктора биологических наук, известного российского агрохимика, обладающего обширными теоретическими знаниями и практическим опытом в области агрохимии, почвоведения и физиологии растений. Она одна из немногих сотрудников, работающих в Институте почвоведения и агрохимии со дня его основания по настоящее время.

После окончания в 1960 году Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева по специальности почвоведение и агрохимия, И.Я. Маслова – коренная москвичка – поехала на работу в Сибирь, в почвенную партию Новосибирской землеустроительной экспедиции, где несколько лет принимала активное участие в почвенном обследовании земель сельскохозяйственного назначения Барабинской низменности, Кулундинской степи, Северной лесостепи. За это время она «изнутри» узнала работу

почвоведом-агрохимика, приобрела большой практический навык в диагностировании и картографировании почв, который пригодился ей в дальнейшей работе. В последующем, Ирина Яковлевна решила посвятить свою жизнь служению науке и, в итоге, внесла существенный вклад в развитие российской и сибирской агрохимии.

В 1963 г. Ирина Яковлевна поступила в аспирантуру Отдела почвоведения Биологического института СО АН СССР (на базе этого Отдела в 1968 г. был создан Институт почвоведения и агрохимии СО АН СССР). Во время учебы в аспирантуре, под руководством доктора сельскохозяйственных наук профессора Р.В. Ковалёва и кандидата биологических наук В.Б. Ильина, она активно проводила полевые и вегетационные опыты, выполняла агрохимические анализы почв и растений, значительно повышая свой научно-теоретический уровень и обретая практические навыки научной работы. После успешного окончания аспирантуры, в 1970 г. на заседании диссертационного совета при Новосибирском сельскохозяйственном институте защитила кандидатскую диссертацию «Агрохимические свойства выщелоченных чернозёмов центральной левобережной части Новосибирского Приобья». В работе было показано, что исследованные выщелоченные чернозёмы, наряду с типичными для всех однотипных почв характеристиками, имеют специфические региональные особенности – меньшие запасы гумуса и валового азота и отличаются повышенным содержанием валовых фосфора и калия. В первом

минимуме элементов питания для сельскохозяйственных культур, выращиваемых на этих почвах, является азот, а не фосфор, как было принято считать ранее.

В 1972–84 гг. И.Я. Маслова возглавляла группу сотрудников в составе лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР, принимавшую участие в выполнении Государственной Межведомственной программы (под руководством академика В.С. Соболева) по изучению ультракалийевых алюмосиликатных руд (псевдолейцититов) Сыннырского месторождения в северном Прибайкалье, в районе Байкало-Амурской магистрали. В задачи группы входило изучение возможности использования продуктов переработки сынныритов в качестве бесхлорных калийных удобрений. Результаты исследований опубликованы в нескольких статьях, отражены в трёх авторских свидетельствах и удостоены бронзовой медали ВДНХ СССР. При выполнении программы проведено сравнительное изучение действия разных форм калийных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и почвенные свойства.

В 1983–84 гг. Ирина Яковлевна в составе Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции участвовала в полевых и лабораторных исследованиях луговых почв поймы реки Орхон в Монголии, активно проводила консультирование монгольских специалистов по вопросам агрохимии и почвоведения.

С 1976 г. И.Я. Маслова плодотворно занимается исследованиями по малоизученной не только в Сибири, но и в целом в России, теме – агрохимии серы. Актуальность проблемы была обнаружена ею при изучении агрохимических свойств оподзоленных чернозёмов и серых лесных почв Присалаирской дренированной равнины в Алтайском крае. В полевых экспериментах районированный сорт пшеницы, при выращивании на фоне оптимального обеспечения азотно-фосфорно-калийным питанием в благоприятные по гидротермическим условиям годы, не достигал потенциальной продуктивности. Было сделано предположение, что причина - в дефиците обеспеченности пшеницы каким-то другим элементом питания, отсутствующим во вносимых удобрениях. Дальнейшие исследования это подтвердили: таким элементом оказался мало изученный элемент - сера. Слабая изученность серы как элемента питания растений связана с несколькими обстоятельствами, из которых основных – два. Первое - большое количество элемента в виде диоксида серы выбрасывали в атмосферу промышленные предприятия; из атмосферы сера затем попадала в почву. В связи с этим считали, что недостатка серы для питания растений возникнуть не может. Второе – затруднения при химическом определении элемента из-за его плохой селективности и связанной с этим воспроизводимости результатов.

В серии полевых и вегетационных экспериментов Ирина Яковлевна выявила особенности питания серой и влияния серных удобрений на урожай и качество зерна одной из основных продовольственных культур – яровой пшеницы. В 1990 году решением ВАК ей было присвоено учёное звание – старший научный сотрудник по специальности "агрохимия". По результатам многолетних исследований в 1992 г. она защитила диссертацию «Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой» на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 06.01.04 – агрохимия, которая стала основой вышедшей в 1993 г. одноименной монографии. В работе было обосновано, что потребность яровой пшеницы в сере определяется обеспеченностью её азотом. При увеличении доз вносимых под пшеницу азотных удобрений нарушается сбалансированность питания растений азотом и серой, возникает относительный дефицит серы, которого не наблюдалось без дополнительного азотного обеспечения. Исследованиями установлено три степени проявления дефицита серы в зависимости от степени сбалансированности азотного и серного питания пшеницы на фоне применения возрастающих доз азотных удобрений. Две первые степени – скрытый дефицит, выражающийся в ухудшении качества зерна (уменьшение в зерне количества белка или клейковины), третья степень - явный дефицит, когда снижается урожай зерна.

В своих работах Ирина Яковлевна обобщила имеющиеся сведения о содержании валовой серы в почвах Западной Сибири и пришла к выводу, что почвы региона отличаются по этому показателю большим разнообразием. Особенности почвообразовательного процесса накладывают отпечаток на распределение серы по профилю почв. В верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах чернозёмов Западной Сибири коэффициент биологического накопления изменяется в пределах 1,3 – 2,5, причём, в осолоделом, солонцеватом и оподзоленном чернозёмах он выше (1,7–2,5), чем в выщелоченном (1,3–1,5). Вниз по профилю почвы содержание валовой серы равномерно снижается, если почвообразующая порода не содержит гипса. В дерново-подзолистых почвах распределение серы по профилю подчинено одновременно и аккумулятивному и

элювиально-иллювиальному процессам. Валовое количество серы в перегнойно-аккумулятивных горизонтах не является типовым признаком. Однотипные почвы из различных регионов могут отличаться друг от друга по содержанию серы в гумусово-аккумулятивном горизонте гораздо значительнее, чем разнотипные почвы внутри одного региона, что обусловлено большим разнообразием содержания элемента в почвообразующих породах. Основная доля запаса элемента в верхних горизонтах почв приходится на труднодоступные для растений соединения, входящие, в основном, в состав органического вещества.

По результатам своих исследований Ирина Яковлевна опубликовала около 100 печатных работ; в том числе несколько монографий, практические рекомендации для сельскохозяйственного производства, большое количество статей в рецензируемых зарубежных и отечественных научных изданиях (Ковалев и др., 1968; Маслова, 1971; Ильин, Маслова, 1979; Маслова, 1993; Маслова, 1995; Maslova et al., 2004; Маслов, 2008; Маслова, Якушева, 2017).

Долгие годы Ирина Яковлевна занимается подготовкой высоко квалифицированных научно-педагогических кадров, активно и плодотворно участвуя в работе диссертационного совета при ИПА СО РАН и других диссоветов, как на стадии предварительного рассмотрения и рецензирования представляемых диссертаций по агрохимии и почвоведению, так и в качестве оппонента.

За свои достижения в научной, педагогической и организационной деятельности И.Я. Маслова награждена медалями, почетными грамотами и премиями.

Ирина Яковлевна всегда пользовалась заслуженным уважением в коллективе, отличалась высоким профессионализмом, творческой активностью и работоспособностью, занимала оптимистическую жизненную позицию. Желаем ей и впредь крепкого здоровья, неиссякаемого оптимизма, удачи в делах и осуществления всех планов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин В.Б., Маслова И.Я. Содержание элементов-биофилов в иле чернозёмов и дерново-подзолистых почв // *Почвоведение*. 1979. №9. С. 61-68.
2. Ковалёв Р.В., Зайкова Л.А., Маслова И.Я. и др. Агрохимическая характеристика почв Новосибирской области // *Агрохимическая характеристика почв СССР. Т.9 Районы Западной Сибири*. М.: Наука. 1968. С.169-227.
3. Маслова И.Я. Агрохимическая характеристика выщелоченных чернозёмов // *Плодородие почв Новосибирского Приобья*. Новосибирск: Наука СО. 1971. С. 5-55.
4. Маслова И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма, 1993. 124 с.
5. Маслова И.Я. Сера в почвах Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 1995. Т. 2. № 1. С. 377-390.
6. Maslova I.Ya., Sharkov I.N., Bukreeva S.L., Yakusheva T.G. Comparative characteristics of organic matter of recent and buried humus horizons in alluvial soil // *Eurasian Soil Science*, 2004. V. 37 (11). P. 1163 – 1169.
7. Маслова И.Я. Воздействие содержащих серу аэротехногенных веществ на некоторые агрохимически значимые свойства почв // *Агрохимия*. 2008. № 6. С. 80-94.
8. Маслова И.Я., Якушева Т.Г. Сортные особенности накопления и распределения серы в надземной части растений яровой мягкой пшеницы // *Агрохимия*. 2017. № 12. С. 21-26.

Поступила в редакцию 10.05.2018;
принята 18.05.2018,
опубликована 23.09.2018

Сведения об авторе:

Шарков Иван Николаевич – доктор биологических наук, руководитель Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского научного центра агробиотехнологий РАН (з.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия), humus3@yandex.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

MASLOVA IRINA YAKOVLEVNA AS A MERITED AGROCHEMIST OF THE INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY, SB RAS

© 2018 I.N. Sharkov

*Address: Siberian Research Institute of Agriculture and Agricultural Chemization of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia.
E-mail: humus3@yandex.ru*

The article describes professional biography of a remarkable researcher Doctor of Biological Sciences Maslova Irina Yakovlevna, who as an excellent agrochemist and soil scientist had worked in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the (USSR) Russian Academy of Sciences since its establishment in 1968 until recently. In 1960 Maslova I. Ya. graduated from the Moscow Timiryazev's Agricultural Academy as a specialist in soil science and agrochemistry and for several years afterwards studied soils in the Barabinsk lowland, the Kulunda steppe and northern forest-steppe zone in the Novosibirsk region in West Siberia. In 1963 Maslova I.Ya. became a post-graduate student in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences and started her own research of the agrochemical properties of leached chernozems in the near-Ob River area with a special focus on soil sulfur. Notably, in 1972-1984 Maslova I.Ya. participated in the State Inter-agency research program on ultra-potassium aluminosilicate ores from the Synnyr mining site in the Central Siberia, studying in detail their potential use as a chlorine-free potassium fertilizer. Since 1976 Maslova's research had been focused mainly on soil sulfur as during her studies in agroecosystems on podzolised chernozems and grey forest soils she found that under optimum NPK supply spring wheat did not reach expected yields even under favourable weather conditions due to, as further research showed, sulfur limitation. Since then Maslova became especially interested in this nutrient, mostly In 1983-1984 Maslova I.Ya., as a member of the joint expedition team studied meadow soils in the floodplain of the Orkhon River in Mongolia, actively teaching and advising Mongol specialists in Agrochemistry and soil science. In 1992 Maslova I.Ya. successfully proved her Doctoral thesis where she substantiated that spring wheat sulfur requirements depend on the rate of nitrogen supply, as additional nitrogen input results in available sulfur deficit, at first manifested in the grain quality, and then in the total yield. Maslova I.Ya. also concluded that soils of West Siberia are very diverse in relation to sulfur content, its speciation, profile distribution and plant availability, especially in the top soil horizons where sulfur can be found mostly in non-available form. To conclude, I. Ya. Maslova's career as a steadfast, consistent and well focused one provides a perfect pattern for contemplation by young researchers.

Key words: *Maslova Irina Yaovlevna; doctor of biological sciences; sulfur; agrochemistry; soil*

How to cite: *Sharkov I.N. Maslova Irina Yakovlevna as a merited agrochemist of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(2): 93–97. (in Russian with English abstract)*

REFERENCES

1. *Il'in V.B., Maslova I.Ya. The content of biophylic elements in the silt fraction of chernozems and sod-podzolic soils, Pochvovedenie, 1979, No.9, p. 61-68. (in Russian)*
2. *Kovalev R.V., Zaikova L.A., Maslova I.Ya. et al. Agrochemical characterization of the Novosibirsk region soils, Agrochemical characterization of the USSR soils. V. 9. Areas in West Siberia. Moscow: Nauka Pubs. 1968. Pp.169-227. (in Russian)*
3. *Maslova I.Ya. Agrochemical characterization of leached chernozems, Soil fertility in the Ob River basin. Novosibirsk: Nauka Pubs SB RAS, 1971, pp. 5-55. (in Russian)*
4. *Maslova I.Ya. Sulfur diagnostics and sulfur regulation in spring wheat nutrition. Novosibirsk: Nauka Pubs., 1993, 124 p. (in Russian)*
5. *Maslova I.Ya. Sulfur in West Siberian soils, Contemporary Problems of Ecology, 1995, V. 2, No. 1, pp. 377-390 (in Russian)*
6. *Maslova I.Ya., Sharkov I.N., Bukreeva S.L., Yakusheva T.G. Comparative characteristics of organic matter of recent and buried humus horizons in alluvial soil, Eurasian Soil Science, 2004, V. 37, No.11, pp. 1163 – 1169.*
7. *Maslova I.Ya. The effect of sulfur-containing aerotechnogenic substances on some agrochemically important soil properties, Agrochimiya, 2008, No. 6, pp. 80-94. (in Russian)*
8. *Maslova I.Ya., Yakusheva T.G. Cultivar peculiarities in sulfur accumulation and distribution in the aboveground phytomass of soft spring wheat, Agrochimiya, 2017, No. 12, p. 21-26. (in Russian)*

*Received 10.05.2018 ; accepted 18.05.2018;
published 23 June 2018*

About the author:

Sharkov Ivan N.– Doctor of Biological Sciences, Head of the Siberian Research Institute of Agriculture and Agricultural Chemization of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia), humus3@yandex.ru

The author read and approved the final manuscript



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



К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ

© 2018 Н.Б. Наумова 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: nnaumova@mail.ru

Автор привлекает внимание к участвовавшим случаям нечеткого описания методов определения содержания органического углерода почвы в научных статьях, публикуемых в отечественных изданиях, даже ведущих. Часто авторы называют общий углерод, определенный с помощью автоматических элементных анализаторов, органическим углеродом почвы, без какого-либо обоснования пренебрегая содержанием неорганического углерода - часто небольшой, но важной для многих свойств и процессов составляющей общего углерода почвы.

Ключевые слова: органический углерод почвы; неорганический углерод почвы; бихроматное окисление; CHNS-элементный анализатор

Цитирование: Наумова Н.Б. К вопросу об определении содержания органического углерода в почве // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.98–103.

Органическое вещество, формирующееся в почве в результате процесса разложения и трансформации растительных и микробных остатков, т.е. процесса гумификации, представляет собой сложную гетерогенную смесь полидисперсных веществ. Эти вещества играют важную роль в процессах выветривания материнской породы почвы, питания растений; в значительной степени определяют мобильность и токсичность микроэлементов, буферность почвы, биодоступность, участвуют в транспорте гидрофобных органических соединений и т.п., обеспечивая экосистемные функции и сервисы почв. Поэтому оценка содержания органического вещества является первостепенным показателем качества почвы.

Долгое время как в нашей стране, так и за рубежом основным методом определения содержания органического углерода в почве был метод бихроматного окисления, называемый методом И.В.Тюрина (Тюрин, 1931) в отечественной практике почвенных исследований или методом Уокли и Блэка (Walkly, Black, 1934) в зарубежной практике (Skjemstad, Baldock, 2008). Как и любой метод, этот метод имеет свои преимущества и недостатки, к последним из которых относится использование значительных количеств вредных для окружающей среды реактивов.

В связи с этим в практику почвенных исследований вошло и стало широко распространенным определение содержания общего углерода в почве с помощью автоматических элементных анализаторов. В этих приборах происходит сжигание очень маленькой аликвоты почвенного образца в потоке кислорода при температуре 900-1200 °С, с последующим количественным определением продукта полного окисления (в данном случае двуокиси углерода) с помощью соответствующего детектора.

Казалось бы, все легко и просто¹. Но есть методико-методологический момент, к которому хочется привлечь внимание. Наряду с органическим, в твердой фазе почвы может присутствовать и неорганический углерод в виде карбонатов, бикарбонатов, угольных частиц, образовавшихся после пожаров. Неорганический углерод, как правило, составляет очень незначительную долю от общего, т.е. от суммы органического и неорганического углерода почвы, однако при расчете запасов углерода в почве им нельзя пренебрегать по ряду причин. Так, во многих почвах абсолютное и относительное содержание карбонатов увеличивается вниз по профилю. Поскольку толщина минеральной части профиля, как правило, намного превышает толщину органо-аккумулятивной части, это повышает значимость получения оценок концентрации и запасов неорганического углерода почвы, в особенности в исследованиях, связанных с круговоротом углерода в разных экосистемах и/или с воздействием разных факторов.

¹ Если, конечно, не касаться стоимости прибора и не задумываться о том, где взять денег на его приобретение.

Вернемся теперь к использованию элементных анализаторов. Чтобы с их помощью определить содержание собственно органического углерода почвы, нужно избавиться от неорганических форм, в основном, карбонатов (Skjemstad, Baldock, 2008). Это уже отдельная работа, которая, увеличивает затраты времени и реактивов. Поэтому происходит поразительная вещь – на практике отечественные исследователи² все чаще и чаще пренебрегают наличием неорганической формы и ставят знак равенства между общим и органическим углеродом почвы! При этом читателю не предлагают ни малейших практических или теоретических обоснований такого подхода, очевидно, придерживаясь представления о том, что такая мелочь не заслуживает никакого упоминания вообще.

Приведем несколько наиболее ярких примеров такой операциональной, но концептуально совсем не рациональной, лексики. Так, в статье «Расчетный метод определения углерода в торфах и моховых подстилках лесных болот по зольности растительного субстрата» (Ефремова и др., 2016), из введения читатель узнает, что целью исследований было «выявление возможности прогнозирования содержания **органического углерода** на основе анализа его статистической связи с физико-химическими свойствами лесных торфяных почв» (там же, С.74). Заинтересованному читателю любопытно, как в торфах и моховых подстилках, т.е. богатых органическим веществом материалах, авторы определяли содержание органического углерода. Не по Тюрину же? Нет, конечно: «Содержание **углерода** определяли на элементном анализаторе FLASHTM1112 (производитель Thermo Quest Italia)» (там же, С.76). В заголовке таблицы 2 «Статистическая характеристика содержания органического углерода...» (там же, С.77) речь снова идет об **органическом углероде**. Читатель уже недоумевает – как все-таки его определяли? При этом на той же странице авторы пишут, что «Значительное варьирование показателей зольности в пределах одного болотного массива обусловлено неравномерным распределением аллювия и делювия в период торфообразования, что закономерно для торфяников пойменной группы». Можно предположить, что там есть и карбонаты, тем более что погребенные почвы и подстилающие породы участка исследований имеют щелочную реакцию (там же, С. 76). Далее по тексту и иллюстративному материалу все повторяется: в заголовке рис. 3 представлена «Пространственная вариабельность физико-химических свойств и содержания **углерода**», а заголовок таблицы 2 говорит о «...связи **органического углерода** и физико-химических показателей торфяной почвы...» (там же, С. 78). И в заключении статьи речь идет опять же об **органическом углероде** «Статистически доказана отрицательная связь содержания органического углерода и зольности растительного субстрата в диапазоне 5–68 %.» и т.п. (там же, С.82). Тут у читателя появляется мысль, что, может быть, в том анализаторе, который использовали авторы для анализа образцов торфа и подстилок, предусмотрена возможность отдельного определения органического и неорганического углерода (например, ступенчатой термогравиметрией³)? Однако, зайдя на сайт ЦКП КНЦ СО РАН, где выполняли анализ образцов, узнаем, что температуру реактора изменять нельзя, она составляет 900 °С. Таким образом, в чисто методической статье, где главным объектом исследования являлся углерод почв, авторы ни единым словом, не говоря уж об экспериментальном обосновании, не обмолвились, почему они общий углерод и органический углерод считают стопроцентными синонимами? Они, может быть, правы в том, что содержание неорганического углерода в изученных ими торфах и подстилках пренебрежимо мало, но почему – подчеркнем, в методической статье! - так прямо и не сказать?

Примеров того, что почвоведы с помощью элементных анализаторов определяют содержание органического углерода, много. Так, Пуртова и др. (2017) утверждают, что «Содержание органического углерода исследовали на элементном анализаторе Flash 2000»⁴. Вторят этому и другие исследователи: «В образцах определялось содержание органического вещества на экспресс-анализаторе АН-8012» (Самсонова и др., 2017, С. 322); «В смешанных образцах почвы ... на автоматическом CHN-анализаторе (Elementar, Германия) проводили определение содержания органического углерода» (Баева и др., 2017, С.346); «Валовое

² Или, как сейчас модно писать и говорить – операционально.

³ Такие приборы – термогравиметрические анализаторы, производят многие компании Mettler-Toledo, PerkinElmer, Leco и другие.

⁴ Авторы также пишут, что «Содержание гумуса определяли по бихроматной окисляемости методом Тюрина» (Пуртова и др., 2017, С.50). Поскольку, по их же словам, элементном анализаторе определяли содержание органического углерода, то что же тогда не позволило пересчитать его на гумус? Или авторы считают, что при бихроматном окислении определяется сразу гумус?

содержание органического углерода... определяли на анализаторе АНА-1500» (Пастухов и др., 2017, С.547); «массовую долю общего углерода органических соединений в твердой фазе почв определяли на CHNS-элементном анализаторе EA-1110 (Carlo Erba, Италия)» (Шамрикова и др., 2017, С.1326⁵); «Содержание органического углерода (Сорг) и азота (Норг) определяли на автоматическом CHNS анализаторе Leco (США)...» (Телеснина и др., 2017, С.1520); и такого рода примеров множество.

Встречаются и всеохватывающие термины: «в образцах определяли... содержание **общего органического углерода** (Собщ)» (Костенко, 2017, С.533). Почему тогда не обозначить это Сорг, как это было до сих пор общепринято? Но апофеозом выглядит следующее: «Содержание **органического углерода** в почвенных образцах определяли способом сухого сжигания на автоматических анализаторах Leco, АН-7529, VARIO-EI, Carlo-Erba NA 1500» (Когут и др., 2011). Неужели авторы и вправду считают, что, чем больше анализаторов они привлекли в работу, тем более «органическим» становится общий углерод типичного чернозема, о котором идет речь в их статье и который может содержать вполне ощутимое количество карбонатов?

Забавно, но происходит и противоположное, а именно: некоторые исследователи начинают считать, что методом Тюрина они определяют общий углерод: «В образцах, отобранных из верхних горизонтов агрочерноземов, определяли содержание **общего углерода** методом Тюрина» (Лебедева и др., 2017, С.231); «**Общий углерод**⁶ определяли по Никитину⁷ с колориметрическим окончанием...» (Чекин, 2017, С.159).

Какова ситуация с описанием методов определения общего и органического углерода почвы в иностранных научных журналах? Обратимся к прошлогодним выпускам некоторых наиболее авторитетных в области науки о почвах журналов, например, к Soil Science Society of America Journal, European Journal of Soil Science и некоторым другим.

Так, в своей статье Кавиджелли и др. (Cavigelli et al., 2017) пишут, что «Samples were... analyzed (in duplicate) for total C... using the dry combustion method with a Leco TruMac CN instrument», т.е. «Образцы... анализировали в двух повторностях на содержание общего углерода... при сухом сжигании с помощью CN-анализатора фирмы Leco TruMac»⁸. Примечательно, однако, что далее авторы пишут следующее: «Total C was considered equivalent to organic C, since earlier analyses showed no inorganic C at this site», т.е. «Содержание общего углерода считали равным содержанию органического углерода, так как выполненные ранее анализы показали отсутствие неорганического углерода на этом участке».

Подобным же образом пишут и другие авторы: «The concentrations of total C and total N were determined using an elemental analyzer (NA 1110, CE Instruments, Milan Italy). The total C concentration determined in this way equaled the SOC concentration because the carbonate content was negligible (<0.3 g kg⁻¹)» (Huang et al., 2017), т.е. «Концентрацию общего С и общего N определяли с помощью элементного анализатора (NA 1110, CE Instruments, Milan Italy). Концентрацию общего С, определенного таким образом, считали равной концентрации органического С почвы, потому что концентрация карбонатов была пренебрежимо мала (<0,3 г кг⁻¹)».

Вот еще пример: «The total carbon, nitrogen, and sulfur concentrations were analyzed on ground samples by gas chromatography by high-temperature heating with a vario EL cube analyzer» (Hirsch et al., 2017), т.е. «Концентрацию общего углерода, азота и серы анализировали в растертых образцах путем газовой хроматографии после нагревания до высокой температуры в анализаторе vario EL».

И еще: «Total C and N samples were run in triplicate and average values used for further analysis. Inorganic C in these soils has been previously shown to be negligible ... , thus total C is equivalent to total organic C» (Collier et al., 2017), т.е. «Образцы на определение С и N прогоняли в трехкратной повторности и их среднее использовали для дальнейшего анализа. Ранее было показано, что содержание неорганического С в этих почвах пренебрежимо мало ..., и поэтому содержание общего углерода эквивалентно содержанию общего органического углерода».

Такого рода примеров – множество. Создается впечатление, что в целом зарубежные исследователи более четко описывают использованные методы и допущения, и если ставят знак

⁵ Это уж не говоря о том, что авторы «Химический анализ почв выполняли в одной повторности...» (Шамрикова и др., 2017, С.1326).

⁶ При этом далее по тексту статьи автор везде пишет про содержание Сорг.

⁷ Тут автор про Тюрина, по-видимому, забыл, упомянуть!

⁸ Здесь и далее перевод автора

равенства между содержанием общего и органического углерода, то обосновывают свое решение, проявляя уважение как к читателю, так и к своей репутации.

Проведенный анализ научных работ, опубликованных в последние годы, показал, что неточное описание методов в плане использования терминов и/или отсутствие обоснования использования того или иного термина даже в ведущих профильных изданиях приводит, как минимум, к путанице и потере времени читателями, а, как максимум, ставит под вопрос методологию и результаты таких исследований. Хочется пожелать авторам и издателям более требовательно относиться к терминологии и использованию тех или иных понятий, что, безусловно, гарантирует четкость восприятия читателями публикуемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудеяров В.Н. Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // *Почвоведение*. 2017. № 3. С.345-353.
2. Ефремова Т. Т., Аврова А. Ф., Ефремов С. П. Расчетный метод определения углерода в торфах и моховых подстилках лесных болот по **зольности** растительного субстрата // *Сибирский лесной журнал*. 2016. № 6. С. 73–83.
3. Козут Б.М., Фрид А.С., Масютенко Н.П., Куваева Ю.В., Романенков В.А., Лазарев В.И., Холодов В.А. Динамика содержания органического углерода в черноземе типичном в условиях длительного полевого опыта // *Агрoхимия*. 2011. № 12. С.37-44.
4. Костенко И.В. Связь показателей гумусного состояния лесных и луговых почв с высотой местности на главной гряде Крымских гор // *Почвоведение*. 2017. № 5. С.532-543.
5. Лебедева И.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г. Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов Каменной степи в условиях разновозрастной пашни // *Почвоведение*. 2017. № 2. С.227-238.
6. Пастухов А.В., Марченко-Вагапова Т.И., Каверин Д.А., Кулижский С.П., Кузнецов О.Л., Панов В.С. Динамика развития бугристых торфяников на южной границе Восточно-Европейской криолитозоны // *Почвоведение*. 2017. № 5. С.544-547.
7. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Щапова Л.Н. Оценка гумусного состояния и продуцирования CO₂ почвами природных и антропогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России // *Почвоведение*. 2017. № 1. С.48-55.
8. Самсонова В.П., Благовещенский Ю.Н., Мешалкина Ю.Л. Использование эмпирического байесовского кригинга для выявления неоднородностей распределения органического углерода на сельхозугодьях // *Почвоведение*. 2017. № 3. С.321-328.
9. Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мирин Д.М. Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных климатических зонах // *Почвоведение*. 2017. №12. С.1514-1534.
10. Тюрин И.В. Новое видоизменение объемного метода определения гумуса с помощью хромовой кислоты // *Почвоведение*. 1931. №5-6. С. 36-47.
11. Чекин Г.В. Некоторые параметры гумусного состояния пойменных почв верхнего течения реки Десны // *Известия КГТУ*. 2016. №41. С.157-164.
12. Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С., Пунегов В.В., Кызьюрова Е.В., Боброва Ю.И., Зуева О.М. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря // *Почвоведение*. 2017. №11. С.1325-1335.
13. Cavigelli M. A., Nash P. R., Gollany H. T., Rasmann C., Polumsky R. W., Le A. N., Conklin A. E. Simulated Soil Organic Carbon Changes in Maryland Are Affected by Tillage, Climate Change, and Crop Yield // *J. Environ. Qual.* 2017.
14. Collier S. M., Ruark M. D., Naber M. R., Andraski T. W., Casler M. D. Apparent Stability and Subtle Change in Surface and Subsurface Soil Carbon and Nitrogen under a Long-Term Fertilizer Gradient // *SSSAJ*. 2017. V.81. P.310-321.
15. Hirsch F., Raab T., Ouimet W., Dethier D., Schneider A., Raab A. Soils on Historic Charcoal Hearths: Terminology and Chemical Properties // *SSSAJ*. 2018 V. 81. P.1427-1435.
16. Huang X., Feng C., Zhao G., Ding M., Kang W., Yu G., Ran W., Shen Q. Carbon Sequestration Potential Promoted by Oxalate Extractable Iron Oxides through Organic Fertilization // *SSSAJ*. 2018. V.81. P.1359-1370.
17. Skjemstad J.O., Baldock J.A. Total and Organic Carbon / Soil Sampling and methods of Analysis. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press; 2008. 836 p.
18. Walkley A., Black I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method // *Soil Sci*. 1934. V.37. P.29–38.

Поступила в редакцию 26.02.2018; принята 06.03.2018; опубликована 23.06.2018

Сведения об авторе:

Наумова Наталья Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), nnaumova@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

WRITING ABOUT ORGANIC CARBON DETERMINATION IN SOIL

© 2018 N.B. Naumova 

Address: Institute of Soil Science and Agro chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: nnaumova@mail.ru

*The article draws attention to increasing incidents of confusing description of organic carbon determination methods in soil research articles, published even in *Eurasian Soil Science*, the leading journal in the field in Russia, i.e. when authors refer to the total soil carbon measured by automated elemental analysers as soil organic carbon, without any justification neglecting soil inorganic carbon, often small but important for many soil properties and processes fraction of total soil carbon.*

Key words: soil organic carbon; soil inorganic carbon; dichromate oxidation; CHN analyzer

How to cite: Naumova N.B. Writing about organic carbon determination in soil // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(2): 98–103. (in Russian with English abstract)

REFERENCES

1. Baeva Y.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kudiyarov V.N., Pochikalov A.V. Changes in physical properties and carbon stocks of gray forest soils in the southern part of Moscow region during postagrogenic evolution), *Eurasian Soil Sci.*, 2017, V. 50, No3, p. 327-334.
2. Efremova T.T., Avrova A.F., Efremov S.P. Calculation method for determination of carbon in the peat and moss litter of forest swamps by ash content of plant substrates, *Siberian Forest Journal*, 2016, No6, p.73–83. (in Russian)
3. Kogut B.M., Frid A.S., Masjutenko N.P., Kuvaeva J.V., Romanenkov V.A., Lazarev V.I., Kholodov V.A. Dynamics of Organic Carbon in Typical Chernozem under Condition of a Long-Term Experiment, *Agrochemistry*, 2011, No12, p.37-44. (in Russian)
4. Kostenko I.V. Relationship between humus status of forest and meadow soils with altitude on the main ridge of the Crimean Mountains, *Pochvovedenie*, 2017, No.5, p.532-543. (in Russian)
5. Lebedeva I.I., Grebennikov A.M., Markina L.G., Cheverdin Y.I., Titova T.V.. Structural state of migrational-mycelial (typical) agrochernozems of the Kamennaya Steppe on plowed fields of different ages, *Eurasian Soil Sci.* 2017, V. 50, No. 2, p. 218-228.
6. Pastukhov A.V., Marchenko-Vagapova T.I., Kaverin D.A., Kulizhsky S.P., Kuznetsov O.L., Panov V.S. Dynamics of palsa peatlands development at the south border of the East European cryolithozone, *Pochvovedenie*, 2017, No. 5, p.532-543. (in Russian)
7. Purtova L.N., Kostenkov N.M., Shchapova L.N. Assessing the humus status and CO₂ production in soils of anthropogenic and agrogenic landscapes in southern regions of the Russian Far East, *Eurasian Soil Science*, 2017, V. 50, No.1, p. 42-48.
8. Samsonova V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of empirical Bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands, *Eurasian Soil Sci.*, 2017, V. 50, No.3, p. 305-311.
9. Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ovsepyan L.A., Lichko V.I., Ermolaev A.M., Mirin D.M. Dynamics of soil properties and vegetation composition in course of postagrogenic development in various climatic zones, *Pochvovedenie*, 2017, No.12, p.1514-1534. (in Russian)
10. Tyurin I.N. Novel transformation of the volumetric method to determine humus using chromic acid, *Pochvovedenie*, 1931, No.5-6, p. 36-47. (in Russian)
11. Chekin G.V. Some parameters of humus status in floodplain soils of the upper Desna area, *Proc. of the KGTU*, 2016, No.41, p.157-164. (in Russian)
12. Shamrikova E.V. Deneva S.V., Kubik O.S., Punegov V.V., Kyzurova E.V., Bobrova Y.I., Zueva O.M. Acidity of organic horizons of arctic soils at the Barentz Sea shore, *Pochvovedenie*, 2017, No.11, p.1325-1335.

13. *Cavigelli M. A., Nash P. R., Gollany H. T., Rasmann C., Polumsky R. W., Le A. N., Conklin A. E.* Simulated Soil Organic Carbon Changes in Maryland Are Affected by Tillage, Climate Change, and Crop Yield, *J. Environ. Qual.*, 2017.
14. *Collier S. M., Ruark M. D., Naber M. R., Andraski T. W., Casler M. D.* Apparent Stability and Subtle Change in Surface and Subsurface Soil Carbon and Nitrogen under a Long-Term Fertilizer Gradient, *SSSAJ*, 2017, *V.81*, p.310-321.
15. *Hirsch F., Raab T., Ouimet W., Dethier D., Schneider A., Raab A.* Soils on Historic Charcoal Hearths: Terminology and Chemical Properties, *SSSAJ*, 2018, *V. 81*, p.1427-1435.
16. *Huang X., Feng C., Zhao G., Ding M., Kang W., Yu G., Ran W., Shen Q.* Carbon Sequestration Potential Promoted by Oxalate Extractable Iron Oxides through Organic Fertilization, *SSSAJ*, 2108, *V.81*, p.1359-1370.
17. *Skjemstad J.O., Baldock J.A.* Total and Organic Carbon. / Soil Sampling and methods of Analysis. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press; 2008. 836 p.
18. *Walkley A., Black I.A.* An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Sci.*, 1934, *V.37*, p.29–38.

Received 26 February 2018;

Accepted 06 March 2018;

Published 23 June 2018.

About the author:

Naumova Natalia B. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), nnaumova@mail.ru

The author read and approved the final manuscript.



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