

УДК 631.416. 1/9:502/504 (470.62)

ББК 40.38 (2Рос-4Кра)

Ш 98

Шхапацев Аслан Капланович

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства сельскохозяйственной продукции Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, e-mail: 6620607-11@mail.ru

Ашинов Юнус Нухович

Доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой землеустройства Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, e-mail: unus.n@mail.ru

Кононова Татьяна Владимировна

Кандидат биологических наук, зам. начальника отдела химизации, защиты растений и карантина Министерства сельского хозяйства РФ, Москва, e-mail: t.kononova@mcx.ru

Агроэкологическая оценка систематического применения средств химизации в земледелии на накопление тяжелых металлов в почве (Рецензирована)

Аннотация. Прослежена динамика изменения кислотно-основных свойств почвы, содержания обменных оснований и тяжелых металлов при длительном применении минеральных удобрений и средств защиты растений в полевом севообороте. После десяти лет проведения исследований отмечено уменьшение показателя рН от исходного уровня на 0,21 ед. Установлено, что по устойчивости тяжелых металлов к действию факторов в опыте можно расположить их в следующей последовательности: Ni>Cu>Co>Pb>Zn>Cd. Полученные результаты по содержанию тяжелых металлов в почве дают основание оценить экологическую ситуацию в агроэко системах Краснодарского края при внесении минеральных удобрений в рекомендуемых дозах как вполне удовлетворительную и обеспечивающую получение экологически безопасной продукции

Ключевые слова: кислотность, обменные основания, плодородие, загрязнение, тяжелые металлы, севооборот, минеральные удобрения.

Shkhatsev Aslan Kaplanovich

Candidate of Agriculture, Associate Professor of Department of Production Technology of Agricultural Products, Maikop State University of Technology, Maikop, e-mail: 6620607-11@mail.ru

Ashinov Yunus Nukhovich

Doctor of Biology, Professor, Head of Land Management Department, Maikop State University of Technology, Maikop, e-mail: unus.n@mail.ru

Kononova Tatyana Vladimirovna

Candidate of Biology, Deputy Head of Department of Chemicalization, Plant Protection and Quarantine of Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Moscow, e-mail: t.kononova@mcx.ru

Agri-environmental impact assessment of systematic application of means of chemicalization in farming on the accumulation of heavy metals in soil

Abstract. The article traces the dynamics of changes in the acid-base properties of the soil, the content of exchange bases and heavy metals during prolonged use of mineral fertilizers and plant protection products in the field crop. After ten years of research, a decrease in pH from the initial level of 0,21 units was found, that the resistance of TM to the action of factors in the experiment can be arranged in the following sequence: Ni>Cu>Co>Pb>Zn>Cd. The results obtained on the contents of heavy metals in the soil provide a basis to assess the environmental situation in agro-ecosystems of Krasnodar region in making fertilizers in recommended doses, as completely satisfactory and provides getting environmentally safe products.

Keywords: acidity, metabolic grounds, fertility, pollution, heavy metals, crop rotation, mineral fertilizer.

Одной из актуальных проблем земледелия Краснодарского края, очень важного продовольственного для России региона, является загрязнение почв различными веществами, в число которых входят тяжелые металлы (ТМ). Нарушение технологий возделывания сельскохозяйственных культур, неправильная распашка земель, ненормированное внесение средств химизации, газообразные, жидкие и твердые бытовые отходы производства и потребления, увеличение автотранспорта и т.д. приводят к возрастанию антропогенного воздействия на почву, что негативным образом сказывается на ее экологическом состоянии.

Например, на территории Краснодарского края одним из источников загрязнения явля-

ются производственные объекты ООО «Еврохим-БМУ» г. Белореченска – завод по производству минеральных удобрений [1]. Загрязняющие вещества, выпадающие из атмосферы (оксиды серы, фосфора, аммиак, кремнефторид натрия, пыль и др.), а также твердые отходы производства (серный кек, фосфогипс), которые накапливаются в многотоннажных отвалах, наносят ущерб почвам и сохранению экологического равновесия в окружающей среде региона [2].

Приоритетными тяжелыми металлами, загрязняющими почву и в целом окружающую среду на Северном Кавказе, являются Zn, Pb, Cu, Ni и Cr. Особую актуальность эта проблема приобретает в связи с проводимой государством политикой импортозамещения. Тяжелые металлы негативно влияют на поступление в растения микроэлементов, которые выполняют важные биохимические функции, связанные с повышением устойчивости организма к неблагоприятным условиям окружающей среды. Это обстоятельство имеет большое значение для формирования продуктивности агроценозов и качества растениеводческой продукции [3, 4].

Но не только наличие повышенных концентраций ТМ в почве, но и состав и соотношение элементов-загрязнителей имеют принципиальное значение в оценке экологического состояния почв. Выявлено, что кадмий усиливает поступление в растения и негативное воздействие свинца, и напротив, снижает положительное влияние цинка [5].

Краснодарский край является зоной интенсивного земледелия с широким спектром выращиваемых сельскохозяйственных культур [6]. Применение минеральных и органических удобрений, как главный прием повышения продуктивности агроценозов и сохранения плодородия почв, также вносит вклад в повышение антропогенной нагрузки. Фосфорные, калийные, органические удобрения, главным образом навоз, химические средства защиты растений содержат более 25 тяжелых металлов. В связи с этим возникает необходимость контроля над состоянием почв края для разработки мероприятий по предотвращению деградации черноземов и их загрязнения [7].

Почвенный покров Краснодарского края разнообразен по эколого-генетическим свойствам (содержанию гумуса, реакции почвенного раствора, биологической активности и др.): от черноземов до альпийских почв, всего более 75 разновидностей [8]. Самые плодородные почвы с мощностью гумусового горизонта от 110 до 200 см – черноземы выщелоченные, которые наиболее благоприятны для возделывания всех культур. В силу этого почвы существенно различаются по устойчивости к химическому загрязнению тяжелыми металлами. Обследование почв показало, что на отдельных участках концентрация цинка превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 1,5–1,9 раза, значительная площадь почв загрязнена свинцом, никелем, ванадием, их концентрация также превышает ПДК. Такое положение с экологическим состоянием почв земельных ресурсов свидетельствует о наличии риска получения продукции, не соответствующей гигиеническим нормам [9, 10].

Методика проведения опытов. Цель опыта состояла в исследовании закономерностей изменения агроэкологических параметров почв в условиях систематического применения минеральных удобрений и средств защиты растений. Исследования проводились на опытном поле Адыгейского научно-технического центра риса. В структуре посевных площадей центра преобладают зерновые – 75–80% и кормовые культуры – 18–24%. Среди зерновых культур наибольшую площадь пахотных угодий занимает рис – 34%. Кроме риса, пашня хозяйства занята озимой пшеницей (29%), кукурузой на зерно (20%), многолетними травами (17%) и другими культурами [10]. Почва опытного участка риса лугово-болотная среднемогучая тяжелосуглинистая на аллювиальных глинах. Этим типом почв занято 75% площадей рисовых оросительных систем Республики Адыгея. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1. Площадь делянки 100 м² (10×20). Повторность опыта 4-х кратная. Удобрение вносили до посева и в подкормки в соответствии со схемой опыта. Все агротехнические мероприятия на всех вариантах выполнялись одновременно и одной техникой. Исследования проводились в звене севооборота: однолетние травы, озимая пшеница, кукуруза, подсолнечник, озимая пшеница. Схема опыта включала 7 вариантов. Однако исследование накопления тяжелых металлов в почвах в условиях систематического применения удобрений и средств защиты растений проводили в варианте с максимальной антропо-

генной нагрузкой в зависимости от культуры севооборота в сравнении с контролем:

- 1) Контроль б/удобрений, б/химической защиты;
- 2) N₄₅₋₉₀P₄₅₋₉₀K₄₅₋₆₀ + фунгициды + гербициды.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

рН _{H₂O}	Н _r	S	Содержание						
			N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	гумус	V	глинистой фракции (<0,01 мм)
			мг/кг почвы				%		
6,3	1,9	34,8	10,5	21,6	38,6	198	2,7	94,8	67

Обсуждение результатов. Стратегия развития АПК, согласно поручению Президента РФ Путина В.В. от 09.10.2015 № Пр-2083, предусматривает долгосрочный план развития зернового комплекса, что возможно только в условиях совершенствования технологии возделывания зерновых культур и главным образом, увеличения объемов внесения минеральных и органических удобрений и использования средств защиты растений. В Краснодарском крае в последние десятилетия объемы применения органических удобрений остаются более чем в 4–5 раз меньше рекомендованных для сельскохозяйственного производства норм (8–12 т/га). Аналогичное состояние отмечается в отношении применения минеральных удобрений, что отражается на физико-химических свойствах почвы, в первую очередь, на содержании элементов питания, отмечается их отрицательный баланс и происходит истощение почв [5].

Агроэкологический мониторинг почв (по данным МСХ РФ) выявил, что вследствие преобладания в ассортименте применяемых минеральных удобрений физиологически кислых – аммиачной селитры усилился процесс дегумификации, наметилось подкисление почв, декальцинирование и эрозия (табл. 2).

Таблица 2

Распределение площадей пашни по показателям кислотности почв (% от общей обследованной площади пашни) по состоянию на 01.01.2016 г.

Округ, край	Вид землепользования – Пашни						
	реакция среды – градация						
	обсле- дова- но, га	слабо- кислая 4,1 – 5,5	близкая к нейтральной 5,6 – 6,5	нейтраль- ная 6,6 – 7,5	слабо- щелочная 7,5 – 8,5	щелочная 8,6 – 9,0	сильно- щелочная 9,1 – 11,0
РФ	23171982,8	395569,1	1650 484,5	9087367,0	10587229,2	1338072,7	8517,6
Южный ФО	14631780,6	2594,0	157423,7	5037647,4	8204542,7	1221140,1	6687,7
Краснодарский край	1683239,0	25,0	52589,5	1290644,3	339790,2	190,0	0

За последние годы только в Республике Адыгея доля площади земель с сильно и среднекислой реакцией среды увеличилась до 16,8% и составляет 38,8 тыс. га, со слабокислой – 113,8 тыс. га (49,1%), с нейтральной и близкой к нейтральной – 72,2 тыс. га (31,2%) и со слабощелочной реакцией почвенного раствора – 6,9 тыс. га (3%) [1].

В проведенных нами исследованиях установлено, что ежегодное внесение минеральных удобрений привело к увеличению активной кислотности. На третий год опыта рН водной вытяжки на варианте с внесением максимальной дозы удобрений осталась практически без изменений, однако на пятый год проведения опыта произошло некоторое снижение величины рН_{H₂O} с 6,30 до 6,18 единиц. После десяти лет наблюдается дальнейшее уменьшение показателя. Разница с контрольным вариантом составила 0,21 единиц рН.

В динамике гидролитической кислотности почвы после пяти проведенных опытов наметилась тенденция подкисления от применения минеральных удобрений, однако достоверных различий не установлено. Возможно, в силу того, что почва относилась по кислотности среды близко к нейтральной, проявилось высокое сопротивление подкисляющему действию

минеральных удобрений. В период после 10 лет исследований величина гидролитической кислотности увеличилась: разница с контролем варианта с максимальными дозами удобрений составляла 1,62 мэкв/100 г почвы.

Особого внимания в интенсивном земледелии заслуживает факт обеднения почв кальцием и магнием. Аналогично динамике реакции почвенной среды произошли достоверные изменения в сумме обменных оснований (S) почвы: за пятилетний период она снизилась с 34,8 мэкв/100 г почвы до 2,4 мэкв/100 г почвы, а за десятилетний период проведения опыта – на 6,3 мэкв/100 г. Следует отметить, что снижение величины суммы обменных оснований повлекло за собой снижение емкости катионного обмена. При закладке опыта на контроле без применения агрохимических средств показатель был равен 41,2 мэкв/100 г почвы, а на варианте с ежегодным внесением минеральных удобрений в максимальных дозах после десяти лет исследований емкость катионного обмена составила 38,3 мэкв/100 г почвы. Выявление взаимосвязи между потерями оснований и внесением минеральных удобрений показало, что каждый килограмм внесенных питательных веществ ведет к потере 0,3 кг CaO и 0,04 кг MgO. Поэтому, несмотря на высокое содержание обменных кальция и магния в почвах, при систематическом внесении минеральных удобрений необходимо предусмотреть дополнительное применение кальций- и магниесодержащих материалов [13].

Представленные результаты показывают, что длительное систематическое применение минеральных удобрений отражается на физико-химических свойствах почвы, что обуславливает развитие деградационных процессов.

В условиях длительного (10 лет) применения удобрений и пестицидов отмечено снижение в почве содержания подвижных форм микроэлементов – меди и цинка. На фоне максимального применения норм удобрений содержание подвижных форм тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Pb, Cd) в почве, согласно эколого-токсикологическим нормативам, ниже ПДК. Экологически безопасная ситуация выявлена и при обследовании почв на всех административных уровнях: как и в целом по Краснодарскому краю, так и по Республике Адыгея вся обследованная пашня по степени опасности загрязнения почв ТМ характеризуется как умеренно опасная 0,5–1,0 ПДК.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в пахотном слое почвы при систематическом применении минеральных удобрений и средств защиты растений

Вариант опыта	Содержание, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Co	Zn	Cu	Mn
Валовое содержание ТМ							
Контроль б/удобрений, б/химической защиты	0,149	49,02	14,57	11,49	60,42	20,57	619,67
N ₄₅₋₉₀ P ₄₅₋₉₀ K ₄₅₋₆₀	0,131	51,66	13,23	10,42	55,71	18,54	471,41
НСП ₀₅ , мг/кг	0,05	8,41	1,17	0,59	10,5	2,58	92,95
Содержание подвижных форм соединений ТМ							
Контроль б/удобрений, б/химической защиты	0,018	5,15	1,32	1,6	2,72	3,36	87,3
N ₄₅₋₉₀ P ₄₅₋₉₀ K ₄₅₋₆₀	0,021	5,58	1,54	1,8	3,31	3,48	92,2
НСП ₀₅ , %	15,1	5,2	6,1	4,3	14,2	11,2	13,0

Статистическая обработка результатов исследований позволила выявить существенные различия между вариантами опыта только по валовому содержанию марганца, которое в контрольном варианте выше. Снижение содержания марганца в почве при ежегодном внесении минеральных удобрений может быть обусловлено тем, что удобрения способствуют повышению урожайности и, следовательно, увеличению биологического выноса элемента. Кроме того, в условиях применения удобрений отмечается изменение кислотности почвенной среды и ее окислительно-восстановительного потенциала, что обуславливает переход соединений марганца из малорастворимых в растворимые, с одной стороны – доступные для питания растений, с другой – легко вымываемые в низлежащие слои почвы.

По остальным ТМ валовое содержание цинка, кобальта, никеля, свинца и кадмия, хотя различия находятся на пределе достоверности, отмечается также устойчивая тенденция снижения их содержания в условиях применения удобрений. Различное воздействие применяемых минеральных удобрений на валовое содержание ТМ может быть обусловлено рядом причин, одна из которых – устойчивость комплексов ТМ с органическим веществом почвы. По устойчивости ТМ к действию факторов в нашем опыте можно расположить их в следующей последовательности: Ni>Cu>Co>Pb>Zn>Cd. Кроме того, полученные данные (табл. 3) показывают, что с урожаем культур севооборота отмечается наибольший вынос Zn и Mn, чем Cu и Co.

В отношении подвижных форм ТМ (извлекаемых ААБ с рН 4,8) можно отметить, что достоверной разницы в сравнении с контролем не выявлено, однако видна тенденция увеличения содержания подвижных соединений в почве (табл. 3). С позиций санитарно-гигиенического подхода в исследуемых почвенных пробах в целом содержание ТМ находится в пределах нормы и не превышает ПДК [11]. Тяжелые металлы, такие, как Pb и Cd, более стабильны в сравнении с медью и цинком, что связано с различиями в их биофильности и технофильности. Содержание их подвижной формы подвержено меньшим изменениям, чем в валовом количестве. Концентрация подвижного свинца варьировала от 1,32 до 1,54 мг/кг, в течение всего периода вегетации также наблюдались колебания в содержании элементов в почве. Не выявлено четкого увеличения либо уменьшения концентрации подвижного свинца [12, 13].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что минеральные удобрения не являются существенным источником загрязнения почвы ТМ, несмотря на поступление некоторых количеств этих элементов в почву. Следует отметить, что небольшое количество ТМ, которое поступает с удобрениями в почву, частично мигрирует в ее нижние слои, некоторая часть выносятся урожаем и частично закрепляется в почве в силу ее буферности [14, 15].

Систематическое внесение минеральных удобрений в научно обоснованных дозах не вызывает накопления тяжелых металлов в почве [5]. Наибольшая подвижность проявляется у марганца (26,9%), а наименьшая – у цинка (7,2) и никеля (10,9%), что может быть обусловлено сорбцией оксидами железа и связыванием в органоминеральные комплексы.

Заключение. Анализ приведенных данных по кислотно-основным свойствам и содержанию тяжелых металлов в почве в условиях полевого севооборота свидетельствует о многостороннем влиянии минеральных удобрений при их систематическом применении. Длительное применение минеральных удобрений в рекомендуемых дозах показывает, что содержание ТМ остается в пределах допустимых уровней загрязнения, превышение ПДК ни по одному из элементов не обнаружено. По устойчивости ТМ к действию факторов в нашем опыте можно расположить их в следующей последовательности: Ni>Cu>Co>Pb>Zn>Cd. При прогнозировании загрязнения почвы и окружающей среды в целом следует учитывать не только возможное поступление элементов, имеющих техногенное происхождение и поступление загрязнителей с различными видами удобрений и средств защиты растений, но и интенсивность деградиционных процессов в почве.

Примечания:

1. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Республике Адыгея в 2013 году: гос. доклад / Управление Роспотребнадзора по Республике Адыгея. Майкоп: Качество, 2014. 75 с.
2. Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края / под. ред. И.Т. Трубилина, Н.Г. Малюги. Краснодар, 1997. Вып. 1. С. 57–68.
3. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани: автореф. дис. ... д-ра сельскохозяйств. наук. Краснодар, 2002. 35 с.
4. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Н.И. Аканова [и др.]. М., 1997. 290 с.

References:

1. On the sanitary and epidemiological situation in the Republic of Adyghea in 2013: a state. report / Office of Rospotrebnadzor of the Republic of Adyghea. Mai-kop: Kachestvo, 2014. 75 pp.
2. Agroecological monitoring in the agriculture of the Krasnodar Territory / ed. by I.T. Trubilin, N.G. Mal-yuga. Krasnodar, 1997. Iss. 1. P. 57–68.
3. Korsunova M.I. Biogeochemistry and agrochemistry of microelements on the Kuban territory: Diss. abstract. for the Dr. of Agricultural Sciences degree. Krasnodar, 2002. 35 pp.
4. Heavy metals in the soil – plant – fertilizer system / M.M. Ovcharenko, I.A. Shilnikov, N.I. Akanova [at al.]. M., 1997. 290 pp.

5. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия: монография / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленев, Л.С. Федотова. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
6. Ашинов Ю.Н. Почвы Республики Адыгея, их использование и связь с элементами социальной структуры: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 275 с.
7. Карпова Е.А. Эколого-агрохимические аспекты длительного применения удобрений: состояние тяжелых металлов в агроэкосистемах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2006. 48 с.
8. Экологическая агрохимия / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2008. 229 с.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in the Biological Environment. 1973. 300 pp.
10. Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F. Monitoring of bioremediation by soil biological activities // Chemosphere. 2000. Vol. 40. P. 339–346.
11. [Электронный ресурс] URL: <http://admkrain.krasnodar.ru:443/content/1133/show/425747/>
12. Ашинов Ю.Н., Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Почвенный покров и элементы социальной структуры Кубани и Адыгеи. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2008. 66 с.
13. Ашинов Ю.Н., Зубкова Т.А., Карпачевский Л.А. Распределение тяжелых металлов в пахотных почвах Белореченского района Краснодарского края // Эколого и социально-экономические аспекты развития предгорной зоны Северного Кавказа. Майкоп: Качество, 2005. 329 с.
14. Почва и социум / Ю.Н. Ашинов, Т.А. Зубкова, И.И. Имгрунт, Л.О. Карпачевский. Майкоп: Адыгея, 2006. 37 с.
15. Ашинов Ю.Н. Содержание тяжелых металлов в почве и их влияние на здоровье человека // Социальная сфера Кубани экономические и социально-психологические аспекты развития: сб. ст. междунар. конф. Майкоп: Качество, 2007. С. 206–210.
5. Liming as a factor of productivity and soil fertility: a monograph / I.A. Shilnikov, V.G. Sychyov, N.I. Akanova, N.A. Zelenov, L.S. Fedotova. M.: VNIIA, 2008. 340 pp.
6. Ashinov Yu.N. Soils of the Republic of Adyghea, their use and connection with elements of social structure: Diss. for the Dr. of Biology degree. M., 2008. 275 pp.
7. Karpova E.A. Ecological and agrochemical aspects of the long-term use of fertilizers: the state of heavy metals in agroecosystems: Diss. abstract for the Dr. of Biology degree. M.: MSU, 2006. 48 pp.
8. Ecological agrochemistry / ed. by V.G. Mineev. M.: MSU, 2008. 229 pp.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in the Biological Environment. 1973. 300 pp.
10. Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F. Monitoring of bioremediation by soil biological activities // Chemosphere. 2000. Vol. 40. P. 339–346.
11. [Electronic resource]. URL: <http://admkrain.krasnodar.ru:443/content/1133/show/425747/>
12. Ashinov Yu.N., Zubkova T.A., Karpachevsky L.O. Soil cover and elements of the social structure of the Kuban area and Adyghea. Maikop: Polygraph-Yug, 2008. 66 pp.
13. Ashinov Yu.N., Zubkova T.A., Karpachevsky L.A. Distribution of heavy metals in arable soils of the Belorechensk district of the Krasnodar Territory // Ecological and socio-economic aspects of the development of the foothill zone of the North Caucasus. Maikop: Kachestvo, 2005. 329 pp.
14. Soil and society / Yu.N. Ashinov, T.A. Zubkova, I.I. Imgrunt, L.O. Karpachevsky. Maikop: Adyghea, 2006. 37 pp.
15. Ashinov Yu.N. The content of heavy metals in soil and their effect on human health // Social sphere of the Kuban economic and socio-psychological aspects of development: coll. of art. of the Intern. conf. Maikop: Kachestvo, 2007. P. 206–210.